



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

“Predicción del mecanismo de deposición del flujo de torrente en la zona de
descarga, caso: dren Norte-Chilca”

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

AUTOR

Bustamante Changa, César Martín

ASESOR

Mg. Ing. Arriola Moscoso Cecilia

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Diseño de Obras Hidráulicas y Saneamiento

LIMA-PERÚ

2018

El Jurado encargado de evaluar la tesis presentada por don (ña)

Bertramante Changa Cexos Martin

cuyo título es:

"Predicción del mecanismo de deposición del flujó
de Tarntes en la zona de Derrama, Caspi
Don Norte - Chirca

Reunido en la fecha, escuchó la sustentación y la resolución de preguntas por el estudiante, otorgándole el calificativo de:

15 (número) Quince (letras).

Lugar y fecha La Olaya 15/12/18.


PRESIDENTE
Dr. Ing. Asif S. Núñez P
Grado y nombre


SECRETARIO
Ing. Luis Vozados Cárdenas
Grado y nombre


VOCAL
Ms Cecilia Arriola Masco
Grado y nombre

NOTA: En el caso de que haya nuevas observaciones en el informe, el estudiante debe levantar las observaciones para dar el pase a Resolución.

Elaboró	Dirección de Investigación	Revisó	Responsable de SGC	Aprobó	Vicerrectorado de Investigación
---------	----------------------------	--------	--------------------	--------	---------------------------------

DEDICATORIA

A mis padres, abuelos, familiares y amigos, por su paciencia, motivación y apoyo durante todo el periodo de mi formación profesional, que esta tesis sea un pequeño reconocimiento a su sacrificio.

AGRADECIMIENTOS

A mi madre Ana C. por su amor incondicional y apoyo en cada minuto de mi vida, a mis abuelos Javier y Maída por su formación y dedicación hacia mí, a mi primo Guillermo A. por su amistad y consejos, y a mi padre Julio C. por ser un ejemplo a seguir a nivel profesional.

A todos los docentes de la Facultad de Ingeniería Civil, por su aporte en mi formación profesional.

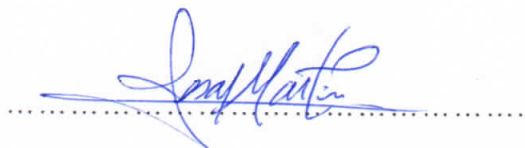
DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD

Yo, César Martín Bustamante Changa, identificado con DNI N° 70073624, a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil, declaro bajo juramento que toda la documentación que acompaño es veraz y auténtica.

Asimismo, declaro también bajo juramento que todos los datos e información que se presenta en la presente tesis son auténticos y veraces.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas de la Universidad César Vallejo.

Lima, 26 de Diciembre del 2018



César Martín Bustamante Changa

DNI: 70073624

PRESENTACIÓN

Señores miembros del Jurado:

En cumplimiento del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo presento ante ustedes la Tesis titulada: “PREDICCIÓN DEL MECANISMO DE DEPOSICIÓN DEL FLUJO DE TORRENTE EN LA ZONA DE DESCARGA, CASO: DREN NORTE-CHILCA”, la misma que someto a vuestra consideración y espero que cumpla con los requisitos de aprobación para obtener el título Profesional de Ingeniero Civil.

César Martín Bustamante Changa.

ÍNDICE

GENERALIDADES	
PÁGINA DEL JURADO	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD	v
PRESENTACIÓN	vi
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
I. INTRODUCCIÓN	
1.1 Realidad problemática	15
1.2 Trabajos previos	18
1.2.1 Trabajos previos nacionales	18
1.2.2 Trabajos previos internacionales	21
1.3 Teorías relacionadas al tema	24
1.3.1 Inundación	24
1.3.1.1 Caracterización de la cuenca	24
1.3.1.2 Proceso de erosión	30
1.3.1.3 Estado del flujo	33
1.3.2 Flujo de torrente	34
1.3.2.1 Hidráulica de los flujos de lodo	35
1.3.2.2 Caudal liquido	41
1.3.2.3 Medidas de protección	45
1.3.2.4 Modelo numérico	50
1.4 Formulación de los problemas	54
1.4.1 Formulación de problema general	54
1.4.2 Formulación de los problemas específicos	54
1.5 Justificación de la investigación	54
1.5.1 Justificación social	54
1.5.2 Justificación práctica	54
1.5.3 Justificación metodológica	54
1.6 Hipótesis	55
1.6.1 Hipótesis general	55
1.6.2 Hipótesis específicas	55
1.7 Objetivos	55
1.7.1 Objetivo general	55
1.7.2 Objetivos específicos	55
II. MÉTODO	
2.1 Diseño de la investigación	57
2.1.1 Método	57
2.1.2 Tipo de la investigación	57

2.1.3 Nivel de la investigación	57
2.1.4 Diseño	57
2.2 Variables y Operacionalización	58
2.3 Población y muestra	58
2.3.1 Población	58
2.3.2 Muestra	58
2.3.3 Tipo de muestreo	59
2.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad	59
2.4.1 Técnica	59
2.4.2 Instrumentos de recolección de datos	59
2.4.3 Validez	59
2.5 Métodos de análisis de datos	61
2.6 Aspectos éticos	62
III. RESULTADOS	
3.1 Descripción de la zona	64
3.2 Determinación del flujo de torrente para observar su comportamiento en la caracterización de la cuenca	66
3.2.1 Clasificación del sistema	66
3.2.2 Parámetros morfológicos	66
3.2.3 Parámetros de la red hidrográfica	69
3.2.4 Parámetros geológicos	71
3.2.5 Hidrología por métodos empíricos	72
3.2.6 Simulación en el modelo Iber - Tirantes	74
3.3 Simulación del flujo de torrente para ubicar las áreas de erosión	78
3.3.1 Propiedades de los sedimentos	78
3.3.2 Hidráulica de los flujos de lodos	81
3.3.3 Simulación en el modelo Iber - Velocidades	81
3.4 Modelación del flujo de torrente para analizar su estado	85
3.4.1 Simulación en el modelo Iber – Número de Froude	85
3.5 Análisis del comportamiento de deposición generada por el flujo de torrente	89
3.5.1 Medidas de protección estructurales	89
3.5.2 Medidas de protección no estructurales	89
3.6 Contratación de hipótesis	91
3.6.1 El flujo de torrente para observar su comportamiento en la caracterización de la cuenca	91
3.6.2 El flujo de torrente para ubicar las áreas de erosión	91
3.6.3 Flujo de torrente para analizar el estado del flujo	92
3.6.4 Flujo de torrente para analizar el comportamiento de la deposición generada	92
IV. DISCUSIÓN	93
V. CONCLUSIONES	96
VI. RECOMENDACIONES	98
VII. REFERENCIAS	100
VIII. ANEXOS	105

- Anexo 1. Matriz de consistencia y operacionalización
- Anexo 2. Ficha de recolección de datos
- Anexo 3. Ensayos granulométricos
- Anexo 4. Tiempos de concentración - River
- Anexo 5. Cálculo aproximado de transporte de sedimentos
- Anexo 6. Datos PISCO
- Anexo 7. Coeficiente de escorrentía
- Anexo 8. Plano: Ubicación de muestras
- Anexo 9. Plano: Perfiles longitudinales
- Anexo 10. Imágenes satelitales
- Anexo 11. Reporte fotográfico
- Anexo 12. Autorización de la versión final del trabajo de investigación
- Anexo 13. Acta de originalidad
- Anexo 14. Autorización de publicación de tesis
- Anexo 15. Turnitin

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Interpretación de los índices de compacidad	26
Tabla 2. Valores interpretativos del factor de forma	27
Tabla 3. Índices de sinuosidad	30
Tabla 4. Clasificación de flujos según Costa	39
Tabla 5. Clasificación de flujos según Costa	39
Tabla 6. Valores de los coeficientes adimensionales según la región del Perú	43
Tabla 7. Tiempo de concentración	44
Tabla 8. Instrumentos de medición	60
Tabla 9. Rangos y magnitudes de confiabilidad	61
Tabla 10. Índice de validez – juicio de expertos	61
Tabla 11. Parámetros de forma de la cuenca	67
Tabla 12. Áreas parciales y acumuladas	68
Tabla 13. Parámetros geomorfológicos de la cuenca húmeda	72
Tabla 14. Caudales máximos – Método Envolvente de Creager	73
Tabla 15. Tiempo de concentración en la cuenca húmeda	73
Tabla 16. Caudales máximos en distintos periodos de retorno	74
Tabla 17. Resumen de ensayo granulométrico	79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Inundación de Chilca – Parte baja de la cuenca	17
Figura 2. Curva hipsométrica	28
Figura 3. Número de orden de corrientes	29
Figura 4. Corte longitudinal de un cauce	32
Figura 5. Relación: esfuerzo cortante – tasa de deformación	36
Figura 6. Clasificación de partículas según su tamaño	37
Figura 7. Clasificación de flujos según Meunier	38
Figura 8. Clasificación de flujos según Coussot	40
Figura 9. Perfiles longitudinales de eventos ocurridos y su clasificación	40
Figura 10. Mapa de regionalización de avenidas en ríos del Perú	44
Figura 11. Deslizamiento rotacional	46
Figura 12. Deslizamiento traslacional	46
Figura 13. Inundación en Piura por el fenómeno del Niño	47
Figura 14. Flujo de corriente ordinario – Chilca 2017	47
Figura 15. Colocación de espigones en cambio de dirección de un cauce	48
Figura 16. Colocación de enrocados en las márgenes del Río Rímac	49
Figura 17. Gaviones	49
Figura 18. Imagen satelital de la Cuenca Chilca	64
Figura 19. Zona de estudio – Dren Norte	65
Figura 20. Áreas parciales de la cuenca Chilca	67
Figura 21. Curva hipsométrica	68
Figura 22. Red hidrográfica de la cuenca Chilca	69
Figura 23. Pendiente del cauce principal	70
Figura 24. Mapa de gradientes	70
Figura 25. Tirantes del flujo a 1200 segundos, Caso: Dren Norte	75
Figura 26. Tirantes del flujo a 2400 segundos, Caso Dren Norte	76
Figura 27. Tirantes del flujo a 3600 segundos, Caso Dren Norte	77
Figura 28. Ubicación de las muestras	78
Figura 29. Muestra M-1 en color rojo, parte baja de la cuenca	79
Figura 30. Muestra M-2 en color rojo, parte baja de la cuenca	80
Figura 31. Muestra M-3 en color rojo, en el cono de deyección	80
Figura 32. Velocidades del flujo a 1200 segundos, Caso: Dren Norte	82
Figura 33. Velocidades del flujo a 2400 segundos, Caso: Dren Norte	83
Figura 34. Velocidades del flujo a 3600 segundos, Caso: Dren Norte	84
Figura 35. Número de Froude a 1200 segundos, Caso: Dren Norte	86
Figura 36. Número de Froude a 2400 segundos, Caso: Dren Norte	87
Figura 37. Número de Froude a 1200 segundos, Caso: Dren Norte	88
Figura 36. Última capa de material depositado, zona de bifurcación del cauce	89
Figura 37. Último material depositado en el cauce principal	90
Figura 38. Ancho de cauce sin descolmatar – Dren Norte	90
Figura 41. Ancho de cauce natural – Dren Norte	90

RESUMEN

El objetivo de esta investigación es interpretar el mecanismo de deposición para pronosticar las zonas vulnerables ante los flujos de torrente en la zona de descarga, Caso: Dren Norte-Chilca, y de esta manera generar una herramienta para la gestión de riesgos de desastres naturales en la zona mencionada, realizando el primer modelo de análisis de inundaciones que simule de la manera más real posible un evento meteorológico extremo, como lo acontecido en los meses de Marzo y Abril de 2017 con el fenómeno El Niño en Chilca – Cañete.

La tesis se realizó aplicando el método hipotético-deductivo, siendo un tipo de investigación aplicada con un nivel explicativo y un diseño no experimental; teniendo como población la Cuenca Chilca en el Distrito de Cañete y de muestra un tramo de 2.3 Km del Dren Norte aplicando un tipo de muestreo no probabilístico.

Para el análisis se revisaron las teorías relacionadas al flujo de torrentes, proceso de erosión, transporte de sedimentos, caracterizaciones de las cuencas, hidrología e hidráulica. Al obtener todos estos datos, se empleó el modelo numérico Iber v2.4.3 para la simulación de un análisis de inundación.

Los resultados obtenidos demuestran que a un periodo de retorno de 500 años se tiene un caudal máximo de 192 m³/s con una intensidad de precipitación de 75.4 mm/hr. La modelación de inundación arrojó tirantes máximos de 2.30m y velocidades en la zona de erosión de 2.5m/s con un número de Froude entre 1.9 y 2.3 para esta zona, indicando un régimen de flujo supercrítico en la zona de meandros.

Concluimos que la zona agrícola cercana en el cono de deyección es la más afectada, proponiendo la descolmatación del cauce Dren Norte, diques de protección y enrocados en las márgenes erosionables del cauce.

Palabras Clave: Flujos de torrente, análisis de inundaciones, flujos de lodos, Iber.

ABSTRACT

The objective of this research is to interpret the deposition mechanism to forecast the vulnerable zones before the torrent flows in the discharge area, Case: Dren Norte-Chilca, and in this way generate a tool for the management of natural disaster risks in the aforementioned area, carrying out the first flood analysis model that simulates in the most real way possible an extreme weather event, such as the events of March and April 2017 with the “El Niño” phenomenon in Chilca - Cañete.

The thesis was carried out applying the hypothetico-deductive method, being a type of applied research with an explanatory level and a non-experimental design; having as a population the Chilca Basin in the District of Cañete and showing a 2.3 km stretch of the North Drain applying a non-probabilistic type of sampling.

For the analysis, theories related to torrent flow, erosion process, sediment transport, basin characterizations, hydrology and hydraulics were reviewed. When obtaining all these data, the numerical model Iber v2.4.3 was used for the simulation of a flood analysis.

The results obtained show that at a return period of 500 years there is a maximum flow of 192 m³ / s with a precipitation intensity of 75.4 mm / hr. Flood modeling showed maximum strata of 2.30m and velocities in the erosion zone of 2.5m / s with a Froude number between 1.9 and 2.3 for this zone, indicating a supercritical flow regime in the meander zone.

We conclude that the nearby agricultural area in the dejection cone is the most affected, proposing the decolonization of the North Dren channel, protection dams and castles in the erodible margins of the channel.

Keywords: torrent flows, flood analysis, mudflow, Iber.

I. INTRODUCCIÓN

1.1 Realidad problemática

Los flujos en ríos torrentosos son muy difíciles de controlar, las pendientes empinadas sumado a precipitaciones extraordinarias, efecto de fenómenos naturales como “El Niño” pueden crear un evento natural conocido como flujo de lodos, flujo de detritos o flujos hiperconcentrados, que, en su mayoría de casos, es devastador y genera grandes pérdidas tanto humanas como materiales.

Según Ochoa:

[...]Entre los países Latinoamericanos más afectados por esta clase de fenómenos está Colombia con el desborde del río Páez en 1994, luego de un terremoto de 6 grados en la escala de Richter cobrando más de mil fallecidos y 7500 familias afectadas. Venezuela con el denominado “desastre de Vargas” ocurrido en 1999 afectando a los estados de Vargas, Miranda y Falcón cobrando más de 20 mil víctimas en este evento. Ecuador, con el deslizamiento del cerro Tamuga – Setor La Josefina debido a fuertes precipitaciones, 50 millones de metros cúbicos de material pétreo fueron desprendidos de la parte alta del cerro en marzo de 1993. (2014, p.16).

En Perú las zonas más activas ante esos fenómenos es Lima Este, destacando el evento ocurrido en el centro poblado San Antonio de Pedregal en 1987 y una de las localidades más afectadas es Chosica, en 2012 se reportaron continuos huaycos afectando enormemente a la comunidad de esta zona, en 2015 el arrastre dejó ocho fallecidos.

En la Selva, por ser un terreno arcilloso y con altas precipitaciones los deslizamientos de flujos de lodos son comunes, bloqueando carreteras y caminos.

“En Ucayali, la carretera Federico Basadre es la más afectada, esta es la principal ruta que conecta a Huánuco con Ucayali, siendo uno de los corredores económicos más importantes del nororiente peruano” (Diario El Comercio, 2017, p. 2).

En la Costa, la mayor concentración de estos fenómenos se da en la zona Norte del país, “Trujillo y Piura fueron los departamentos más afectados en el fenómeno del Niño de 2017. El ministerio de transporte anuncia que el 22% de las carreteras del país estaban afectadas por inundaciones” (Diario El Comercio, 2018, p. 2).

En 2017, el Fenómeno “El Niño” impactó brutalmente nuestra Costa Peruana; este fenómeno consta del incremento anómalo de la temperatura del mar a causa de la desviación de corrientes de aire frías de las costas del Pacífico al Sur del país, teniendo una dirección de Sur a Norte.

El Niño aporta las brisas tropicales originarias del Ecuador con mayor intensidad, causando el calentamiento del mar, siendo éste naturalmente frío, alterando el ciclo hidrológico y dando lugar a fuertes lluvias, inundaciones y aluviones.

Anomalías naturales como esta son erráticamente cíclicas, lo que representa un gran problema y riesgo latente para la población, más aún cuando el gobierno no presta la debida atención a la gestión de riesgo de desastres ante fenómenos naturales como estos, lo que ha provocado un retardo importante en el desarrollo del país. Actualmente, la reparación de todos estos daños a nivel de infraestructura se da de manera lenta, perjudicando la calidad de vida de los afectados, como hemos podido apreciar todos estos efectos en este último fenómeno de El Niño, acontecido a principios del 2017.

La presente investigación busca identificar las zonas vulnerables ante fenómenos naturales como precipitaciones anómalas extraordinarias en la Cuenca de Chilca, esta precipitación transformada en escorrentía se combina con el material suelto de las pendientes pronunciadas en la zona, generando flujos de lodos que descienden hasta la parte baja. Al modelar e interpretar este fenómeno en un software computacional, recopilando datos hidrológicos, geológicos y topográficos podremos generar una simulación, estimando las zonas inundables de la cuenca baja como un flujo no estacionario.

Para la modelación computacional de los flujos, primero debemos entender la mecánica del mismo, el cual puede ser Newtoniano, adquiriendo el comportamiento del agua englobando las ecuaciones de la hidráulica convencional como la conocemos, para estos flujos se puede emplear softwares como el I-RIC, Hec-Ras, I-BER, entre otros.

El comportamiento de un flujo no newtoniano comprende una mecánica visco-elástica no lineal, este posee una clasificación muy amplia a través de estudios de distintos autores, adopta una física distinta al transportarse y por ello se estudia con otras ecuaciones más complejas, por ello en la mayoría de casos de flujos de este tipo se hace necesario el uso de una simulación CFD (Computational Fluid Dynamics).

Actualmente en el mercado encontramos softwares para la modelación de este tipo de flujos como el Flo-2D, FLO-3D, OpenFOAM, etcétera.

Para el empleo de los softwares mencionados líneas arriba, se tiene que hacer uso de Sistemas de Información Geográfica para el tratamiento previo de la información recopilada, parte de esta información ha sido obtenida por organismos del estado como el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET) y el Ministerio del ambiente (MINAM).

Una vez identificado el tipo de flujo a estudiar, se podrá escoger el modelo computacional que más se adapte al caso, luego proceder con su simulación e interpretación. Reconocida las zonas vulnerables a inundación por los flujos de torrente, continuamos con la propuesta de obras de protección tanto estructurales como no estructurales para así poder salvaguardar el bienestar y la salud de la población e industrias que se han asentado en la parte baja de la Cuenca Chilca - Provincia de Cañete.

Mediante esta investigación podemos apoyar a una pequeña parte del país a ya no reincidir en la misma catástrofe que vivimos debido al último fenómeno del Niño Costero ocurrido a inicios del 2017, brindando un gran aporte a los habitantes de esa zona.



Figura 1. *Inundación de Chilca – Parte baja de la cuenca*
(Fuente: Propia).

1.2 Trabajos previos

1.2.1 Nacionales

GARCIA, Rut. Alternativas para la estabilización de la quebrada Cantuta II con fines de mitigación de huaycos. Tesis (Título Profesional en Ingeniería Agrícola). Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina, 2016.

El **objeto** de esta investigación es a causa de los recurrentes huaycos ocurridos en la inter-cuenca media baja del Río Rímac, siendo los distritos más afectados: Chaclacayo y Chosica, por ello el **objetivo** principal es investigar las distintas opciones de estabilización en la quebrada Cantuta II con el fin de minimizar los huaycos latentes a afectar a la Universidad Nacional de Educación. Aplicando una **metodología** descriptiva, se empleó el uso de la información cartográfica para su posterior análisis, correspondiente a Lurigancho-Chosica, analizando la data de la estación Santa Eulalia se obtuvo como **resultado** los parámetros geo-morfológicos e hidráulicos y los diseños de la construcción de enrocados, diques de piedra entre 2 a 3m y zanjas de drenaje. También se **concluyó** que el flujo de escombros desfoga directamente en el cono de deyección. Para finalizar, se determinó la hidrología para un periodo de retorno de 200 años y se obtuvo un $T_c = 2.29 \text{ mm/hr}$ y un caudal de $0.2 \text{ m}^3/\text{s}$. El **aporte** son los distintos tipos de obras de protección a emplear para salvaguardar estructuras específicas como una universidad ante fenómenos naturales como la inestabilidad de los taludes cercanos a una zona poblada además de identificar la zona de bifurcación como el área donde más se depositan los sedimentos.

CHAHUA, Jhon. Dinámica de flujos aluvionales en el Centro Poblado Quincemil, subcuenca del río Arazá. Tesis (Título Profesional en Ingeniería Mecánica de fluidos). Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2016.

El **objeto** de esta investigación es debido a que el C.P. Quincemil fue afectado por 4 aluviones, 6 inundaciones y 4 deslizamientos en los últimos 25 años, por ello se propuso como **objetivo** general caracterizar la dinámica de los flujos aluvionales y áreas vulnerables ante una ocurrencia extrema aluvional en el C.P. Quincemil. La **metodología** empleada fue descriptiva, esta tesis se basó en emplear el modelo numérico Flo-2D, basándose en la geología, hidrología y morfometría de la cuenca se pudo realizar esta simulación. Se obtuvo como **resultado** la simulación del flujo, velocidades, tirantes y transportes de sedimentos.

El autor **concluye** que el tamaño de celda empleado para el software es de 30 metros y mientras menor sea este tamaño, el análisis será más detallado, también determinó que el caudal extremo equivale a 9493.5 m³/s alcanzando tirantes máximos de 79 metros, inundando el 53% del área total analizada (40 Ha). Esta tesis **aporta** a tener un panorama de la metodología a emplear para un modelado computacional de este tipo, además de mencionar distintas formas de analizar la hidrología de una cuenca y el aporte sobre el tamaño de celda de análisis a emplear.

CHIROQUE, Cristhian. Caracterización geodinámica y modelamiento del deslizamiento-flujo Yanacolpa en el Distrito de Parobamba, Provincia de Pomabamba, Región Ancash. Tesis (Título Profesional en Ingeniería Geológica). Lima: Universidad Nacional de Piura, 2016.

El **objeto** de estudio se fundamenta en que el sector de Yanacolpa se ve afectado por un deslizamiento rotacional el cual provoca movimientos de masa sobre la superficie de falla, el autor propone como **objetivo** determinar las condiciones geotécnicas, hidrológicas y geológicas para la reactivación de un deslizamiento y su magnitud. El autor aplica una **metodología** descriptiva, analizando bajo el evento extraordinario del Fenómeno “El Niño”, recopilando datos cartográficos, topográficos y visitas de campo, también datos de aceleraciones máximas en la zona y la observación de la geología con calicatas de 2 a 3 metros de profundidad. Al obtener los **resultados** del análisis granulométrico, las curvas de nivel, ensayos DPL, se procede con el modelamiento en el software Slide, obteniendo las distintas fases de falla. Se **concluye** que la presencia de sedimentos arcillosos de media y alta plasticidad tienden a provocar mayores movimientos de masa (flujos no newtonianos). La tesis **aporta** la forma metodológica a nivel de geotecnia para la inspección en campo y así determinar las zonas de muestreo para ensayos de laboratorio e inspección.

VILCAHUAMAN, Carlos. Concepto de medidas de prevención para reducir el riesgo de desastre por huaicos en Ica. Tesis (Título Profesional en Ingeniería Civil). Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, 2015.

Esta investigación tiene por **objeto** los continuos sismos severos y la licuefacción de suelos, además de desbordes del río a causa del Fenómeno del Niño provocando flujos de escombros que descargan en el área urbana, por ello se plantea como **objetivo** un estudio preliminar de la naturaleza de los huaycos. Esta investigación describe de manera conceptual la naturaleza

inicial de los huaicos producidos en la Quebrada Cansas. Se utilizó una **metodología** explicativa, determinando las mejores medidas a emplear para la mitigación de huaicos, así como describir las soluciones empleadas en lugares similares. Se obtuvo como **resultado** una memoria descriptiva en la cual se precisa los detalles de las soluciones adoptadas para la minimización de los efectos devastadores provocados por huaicos. El autor **concluye** que el riesgo de desastre por huaicos es causado más por factores humanos que naturales y que éstos cumplen un papel fundamental en el mantenimiento del ecosistema, además se empleó un sistema de presas de control para el manejo de estos flujos. El **aporte** de esta investigación es profundizar el origen de los flujos de lodos y la caracterización del flujo se daría a partir de un ensayo granulométrico para examinar la reología de la zona de estudio.

GAMION, Jhon. Modelo de flujo de escombros y lodo aplicando Flo-2D, caso subcuenca del río Shullcas. Tesis (Título Profesional en Ingeniería Civil). Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú, 2014.

El **objeto** de esta investigación es por las grandes pérdidas producidas por los huaycos en ríos de gran pendiente como Shullcas producto de precipitaciones extraordinarias. El autor presentó como **objetivo** principal zonificar las áreas vulnerables a flujos de escombros provocados por circunstancias hidro-geomorfológicas y también hidráulicas. Empleando una **metodología** descriptiva, se elaboró un modelamiento bidimensional con el modelo numérico Flo-2D con el fin de poder visualizar y conocer el mecanismo de transporte de los flujos hiperconcentrados; elaborando hidrogramas del caudal líquido, estos fueron estimados para una precipitación con un periodo de retorno de 100 años, teniendo como **resultado** tirantes máximos de 1.70 a 2.30m con velocidades de 5m/s. Se **concluye** que con ayuda de un análisis granulométrico se puede determinar el tipo de flujo y que la calibración del modelo se efectúa a través de las rugosidades de Manning por medio de los usos de suelo. Este estudio **aportó** los conocimientos para una simulación de flujos de torrente, ya que emplea un software bidimensional, orientándonos en qué tipo de datos de entrada necesitamos para el modelamiento óptimo y su ajuste para asemejarlo lo más posible a la realidad.

1.2.2 Internacionales

ORTEGA, Andreina. Compendio de los criterios de diseño de las presas de retención de sedimentos propuestas en Vargas por los hechos de diciembre de 1999. Tesis (Título Profesional en Ingeniería Civil). Caracas: Universidad Católica Andrés Bello, 2016.

El **objeto** de este estudio se basa en la catástrofe ocurrida en 1999, una de las más impactantes en toda Latinoamérica, cobrando pérdidas humanas, al día de hoy, aún desconocidas. Se propone como **objetivo** general documentar las soluciones de diseño de las presas de retención de sedimentos. Empleando una **metodología** explicativa, expone el análisis de una cuenca con precipitaciones insignificantes, lo cual creaba una falsa seguridad en sus pobladores, los ingenieros de la época plantearon diferentes criterios de diseño para obras de protección con aproximaciones empíricas, resaltando las presas de retención de sedimentos, el autor busca sistematizar los criterios de diseño de presas con esta investigación. Los **resultados** indican que para un $T_r = 100$ años, el caudal de diseño será de $204\text{m}^3/\text{s}$ además la presa se diseñaría con una altura de 2.7m. Se **concluye** que las alturas mínimas de las presas es tres veces el diámetro máximo de la roca predominante y sus anclajes deberán ser en estratos rocosos estables para mantener su peso y rigidez estructural. El **aporte** de esta tesis nos ayuda a entender el comportamiento de una cuenca casi seca con precipitaciones extraordinarias, y las medidas preventivas que hay que tomar. Además, destaca los criterios de diseño empleados para sus obras de protección.

SEPULVEDA, Amanda y PATIÑO, Jaime. Metodología para la evaluación de riesgo por flujo de detritos detonados por lluvia. Tesis (Maestría en Ingeniería Civil). Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana, 2016.

En esta tesis el **objeto** de estudio se basa en que se presenta un flujo de detritos cada dos días en Colombia, generando pérdidas económicas a la población cercana al cono de deyección, por ello se plantea como **objetivo** general una metodología para la evaluación del riesgo. Desarrollando un **método** descriptivo, se aplica sistemas de información geográfica (GIS), el método de relación-frecuencia, hidro-geología y morfometría de la cuenca para lograr un mapa de susceptibilidad, además se emplea el software Flo-2D para la simulación a un $T_r = 10$ años para determinar áreas de inundación, velocidades y profundidades máximas del flujo. Los **resultados** se determinaron mediante la resistencia e índices de exposición, además que el estrato superficial varía de 0.28 a 14m encontrando profundidades entre 2.81m

y 10.18m; además de mencionar que las calizas y las areniscas y los suelos arcillosos con limos y arenas presentan mayor correlación con los flujos de detritos. Se **concluyó** que esta tesis permite desarrollar protocolos de actuación en caso de desastre además de poder diseñar medidas de contención, además concluye que los softwares en dos dimensiones arrojan errores muy aceptables en su aproximación con la realidad. Esta investigación **aporta** la metodología para un análisis de evaluación de riesgos y generación de mapas de susceptibilidad y vulnerabilidad.

GARCIA, Raúl. Análisis y evaluación del transporte de sedimentos en cuencas mediterráneas, aplicación a la Rambla del Albuñón (Cartagena). Tesis (Título Profesional en Ingeniería hidrológica). Cartagena: Universidad Politécnica de Cartagena, 2015.

Tiene por **objeto** el estudio de transporte de sedimentos en ríos torrenciales en la comunidad autónoma de la región Murcia – España ya que esto afecta a las zonas agrícolas de manera muy recurrente además de ser la más importante del campo de Cartagena. El autor planteó como **objetivo** mostrar los requerimientos mínimos necesarios para la realización de un análisis hidráulico y analizar los procesos de erosión, transporte y sedimentación. Utilizando una **metodología** descriptiva, emplea sistemas de información geográfica (SIG), y el software Hec-Ras. Para poder desarrollar esta investigación, el autor obtuvo un estudio de los sedimentos depositados, la morfología de la zona de estudio. Luego se calculó gastos máximos a distintos periodos de retorno; con toda esta recopilación de datos y cálculos se procedió a su modelación en una dimensión con el software Hec-Ras, obteniendo como **resultados** caudales a periodos de retorno de 1.4, 10, 100 y 500 años siendo respectivamente 34.5, 758.4, 3687.6 y 5168.7 m³/s. Se **concluye** que modelo Hec-Ras empieza a tener cierta desventaja en modelaciones de este tipo de fenómenos, ya que obvia varios cálculos además que la capacidad de transporte de sedimentos depende de cuánto cambia la geometría del lecho por lo que hay que estar actualizando los modelos continuamente. El **aporte** de esta tesis recae en indicarnos que los modelos en una dimensión van quedando de lado para el estudio de la hidráulica fluvial.

VALDEZ, Olbia. Modelación y análisis bidimensional del cauce de alivio Los Zapotes Don Julián bajo diferentes escenarios de vegetación. Tesis (Título Profesional en Ingeniería Civil). México D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México, 2015.

El **objeto** de esta investigación recae en la modelación del rebalse en temporadas de avenida del río Grijalva y su efecto, ya que hay mucha población cercana a esta zona. Se expone el **objetivo** establecer los riesgos que presentan las obstrucciones del cauce mediante una simulación del flujo en distintos escenarios mediante un modelo numérico bidimensional; utilizando una **metodología** explicativa para esta investigación el autor recopila información de reconocimiento de campo, topografía a detalle, geología y cálculos de caudales máximos y usos de suelo, para luego simularlos en el modelo numérico bidimensional Iber, con ello se obtuvo como **resultado** que los tirantes alcanzan una altura de 2.81m con el cauce limpio y con el cauce actual un tirante de 4.2m . y las velocidades en zonas con árboles alcanza 0.92 m/s y en zonas abiertas y limpias velocidades de 1.19m/s. **Concluyendo** que la descolmatación del cauce es crucial para el control de avenidas de flujos, además de que no se recomienda usar la siembra de árboles para el control de erosión de las aguas del río. El **aporte** de esta tesis es su metodología al emplear el modelo numérico Iber, y los datos de entrada que se necesitan para la simulación, también su comparativa del comportamiento del flujo al colocar árboles como medida de control.

OCHOA, Santiago. Evaluación de modelos hidrodinámicos para representar flujos en cauces naturales – Aplicación en un tramo del Río Suquía - Córdoba. Tesis (Maestría en Ingeniería Civil). Córdoba: Universidad Nacional de Córdoba, 2014.

Tiene por **objeto** la aplicación de simulaciones hidrodinámicas complejas para la correcta planificación de obras públicas y privadas para minimizar el empleo de modelos físicos. Planteó como **objetivo** el estudio de las características hidrodinámicas en cauces y contraste de modelos numéricos y experimentales; utilizando una **metodología** explicativa, el autor obtiene los datos topográficos, hidráulicos y geo-morfológicos de un tramo del río Siquía para luego simularlos en los modelos numéricos Hec-Ras, Iber y Delf3D y así demostrar los criterios de similitud entre los softwares planteados. Se obtuvo como **resultados** que el modelo con mejor semejanza a la realidad en cuanto a velocidad de flujo es el modelo Iber, en cuanto a nivel de agua Hec-Ras e Iber destacan con una buena simulación, estos ensayos se realizaron para periodos de retorno de 10 y 25 años. El autor **concluye** que el modelo numérico con un mejor balance para la simulación de velocidades y tirantes de flujos de agua es el software Iber. Esta tesis **aporta** a la recomendación del empleo del modelo numérico Iber para simulaciones de flujos newtonianos en cauces naturales.

1.3 Teorías relacionadas al tema

1.3.1 Inundación

Según el IMTA (2014, p.3), expone:

Se originan con el inicio de movimiento de los sedimentos, la entrada en suspensión, el arrastre de fondo, la deposición de partículas, su compactación y consolidación, crea continuamente los paisajes y modifica la forma de los ríos, a través del tiempo.

1.3.1.1 Caracterización de la cuenca

La FAO nos explica:

Una cuenca hidrográfica es un área geográfica drenada por un flujo de agua. Este principio es aplicable a diferentes escalas, desde superficies agrícolas atravesadas por un arroyo (microcuencas) hasta las extensas cuencas fluviales. Una cuenca fluvial frecuentemente integra un complejo sistema compuesto por cuencas y microcuencas hidrográficas por el cual pasa un río y sus afluentes, en su trayecto desde su nacimiento hasta su desembocadura. (2009, p.1).

1.3.1.1.1 Clasificación de cuencas

a. En función a su sistema de drenaje

Desde esta perspectiva más óptima y concisa para la investigación, procederemos a clasificar las cuencas de la siguiente forma, (según las referencias de autores más notables de la hidráulica fluvial):

- **Endorreicas:** las aguas de este tipo de cuenca transcurren hasta un lago o embalse y no presentan desembocadura al mar.
- **Exorreicas:** cuando las aguas son conducidas por la topografía hacia un sistema más grande de drenaje como por ejemplo un río de mayor dimensión o mar.
- **Arreicas:** cuando las aguas se evaporan o filtran durante su recorrido en la superficie antes de poder encauzarse en un sistema de drenaje.

b. En función a su tamaño

Según Aguirre (1983), establece otro tipo clasificación basándose en su tamaño:

- Sistemas hidrográficos (mayor a 300.000 Ha)
- Cuencas (de 60.000 hasta 300.000 Ha)
- Sub-cuencas (de 10.000 hasta 60.000 Ha)

- Microcuencas (menor a 10.000 Ha)

c. En función a su elevación

La cuenca se clasifica en tres distintas zonas:

- **Cuenca alta:** también llamada zona de recarga, nos referimos a la zona en el cual inicia el río, al recibir gran parte de la totalidad de las precipitaciones, presenta un paisaje típico de bosque.
- **Cuenca media:** zona que presenta una pendiente mayor, con flujos turbulentos, conocida también como transporte de sedimentos o zona de escurrimiento.
- **Cuenca baja:** es la zona con menor pendiente en comparación con las tres anteriores, normalmente posee un cauce definido y un flujo continuo. También conocido como cono de deyección o zona de depósito.

1.3.1.1.2 Elementos de las cuencas

a. Divisoria de aguas

Límite imaginario entre cuencas hidrográficas adyacentes, esta línea está definida por la propia topografía del lugar.

b. Cauce principal

Es una concavidad del terreno por donde transcurre una corriente de agua, en un sub grupo del mismo, encontramos cauces tributarios o también llamado secundarios.

c. Área de la cuenca

Extensión de terreno delimitada por la divisoria de aguas, los límites de cuencas peruanas ya están definidos por la Asociación Nacional del Agua.

1.3.1.1.3 Parámetros geomorfológicos

Dentro de estos parámetros se define su forma, relieve y red de drenaje, líneas abajo detallaremos cada uno de ellos.

a. Parámetros de forma

Según Cardona (2016, p.2), menciona que “este indicador interviene de manera directa en el diseño del hidrograma de descarga, en el caso particular de los eventos de avenidas máximas, las cuencas de un área equivalente, pero de distinta forma, originan hidrogramas distintos”.

- Índice de compacidad o coeficiente de Gravelius (I_C)

Para Campos (1987) el coeficiente adimensional que vincula el perímetro de la cuenca con respecto al perímetro de un círculo de igual área que la cuenca.

$$I_C = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} \dots\dots\dots \text{(Ecu. 1.1)}$$

Tabla 1: Interpretación de los índices de compacidad

Donde:		Si:
P =	Perímetro de la cuenca	$I_C = 1 \rightarrow$ La cuenca es circular
A =	Área de la cuenca	$I_C \approx 1 \rightarrow$ La cuenca es regular
		$I_C \neq 1 \rightarrow$ La cuenca es irregular
Mientras mayor sea el I_C ,es menos susceptible a inundaciones.		

Fuente: Campos, 1987.

- Factor de forma de Horton (FF)

Expresión que divide el área entre el cuadrado de la longitud de una cuenca, este valor mide cuan alargada es una cuenca, ya que repercute en los caudales máximos e hidrogramas.

La cuenca con un factor de forma bajo, es menos susceptible a crecientes a comparación de una con la misma área y mayor factor de forma. El factor de forma de Horton obedece a la ecuación:

$$FF = \frac{A}{L^2} \dots\dots\dots \text{(Ecu. 1.2)}$$

Tabla 2. *Valores interpretativos del factor de forma.*

Valores Aproximados	Forma de la cuenca
< 0.22	Muy alargada
0.22 - 0.30	Alargada
0.30 - 0.37	Ligeramente Alargada
0.37 - 0.45	Ni alargada, ni ensanchada
0.45 - 0.60	Ligeramente ensanchada
0.60 - 0.80	Ensanchada
0.80 - 1.20	Muy ensanchada
>1.20	Redondeada

Fuente: Delgadillo, 2011.

- **Relación de circularidad (R_C)**

También llamado radio de circularidad, se define como el resultado de dividir el área abracada por la cuenca (A) y el área de un círculo con un perímetro idéntico al de la cuenca. Si dicho cociente nos da un valor igual a 1, entonces se concluye que la cuenca es circular.

$$R_C = \frac{4\pi A}{P^2} \dots\dots\dots (\text{Ecu. 1.3})$$

- **Longitud del cauce principal (L_C)**

Abarca la distancia horizontal a través de todo el largo del cauce a estudiar, empezando por la desembocadura en el mar hasta su límite definido en la parte alta de la cuenca.

- **Centro de gravedad (C.G)**

Valor adimensional que es definida como el punto centro de la cuenca, se precisa de una cierta elaboración para lograr su obtención.

- **Longitud al centro de gravedad (L_A)**

Longitud medida entre el centro de gravedad y el punto que indica la salida fluvial de una cuenca.

- **Parámetros de relieve**

Para Cruz (2015, p.3), menciona que “a medida que la pendiente aumenta, corresponderá un menor tiempo de concentración para las aguas de escorrentía en el cauce principal y sus afluentes”.

- **Pendiente media**

Parámetro esencial para obtener una descripción aproximada del relieve; empleado también para la realización de comparaciones entre otras distintas cuencas y así poder observar los fenómenos erosivos que se dan en la superficie. Existen diversas formas para la determinación de este parámetro, pero tenemos a los planteamientos de Albord y Horton como los más destacados.

- **Curva hipsométrica**

Indica cuánta superficie o porcentaje de área se encuentra sobre una determinada cota. A través de esto se nos permite una correcta caracterización del relieve.

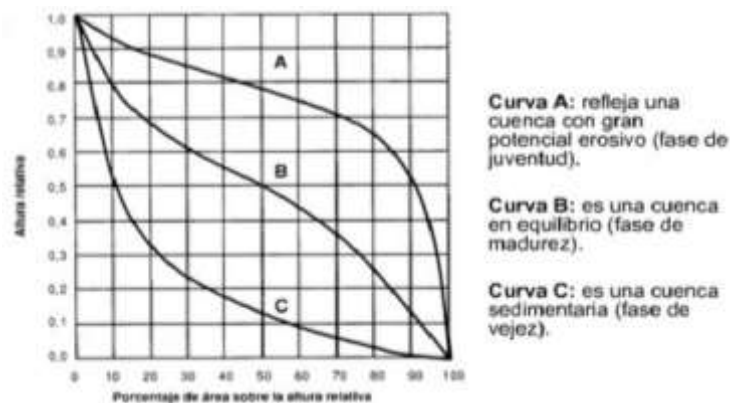


Figura 2. Curva hipsométrica

(Fuente: Domínguez, 2014).

- **Elevación media**

Cardona (2016, p.5), menciona que “se obtendrá la altura media a través de la curva hipsométrica la cual será igual a la mitad de la superficie de la cuenca, donde la abscisa de la gráfica se aplicará el porcentaje”.

b. Parámetros de la red hidrográfica

Parámetro que corresponde a la evacuación natural, permanente o temporal, por el cual se da el paso de las aguas de interflujos subterráneas y superficiales.

- Componentes de la red de drenaje

Constituido por un cauce principal y sus tributarios. Se utiliza el método de Horton al ser éste la clasificación más usada, por lo que se considera a las corrientes nacientes, fuertes y que carecen de afluentes como corrientes de primer orden. Las corrientes de segundo orden se originan cuando dos corrientes clasificadas como de primer orden coinciden en un mismo punto y así sucesivamente.

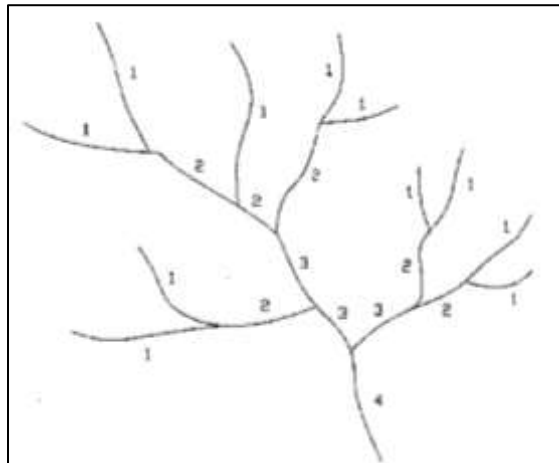


Figura 3. Numero de orden de corrientes
(Fuente: Horton, 1945).

- Relación de bifurcación (Rb)

Este valor, planteado también por Horton, es definido como el resultado de la relación entre la cantidad de cauces de un orden cualquiera (N_u) y la cantidad de cauces de orden (u) que sean de un orden inmediatamente superior. Este parámetro está sujeto a la siguiente ecuación:

$$Rb = \frac{N_u}{N_{(u+1)}} \dots\dots\dots \text{(Ecu. 1.4)}$$

- **Sinuosidad del cauce principal (Si)**

Parámetro compuesto por la división entre la longitud total del recorrido del río (L_c) y la distancia que se obtiene de medir linealmente desde el punto donde se origina la corriente hasta el punto donde desemboca.

$$Si = \frac{L_c}{L_t} \dots\dots\dots \text{(Ecu. 1.5)}$$

Shumm (1963) identifica cinco tipos de cauces, asignándoles un índice de sinuosidad promedio, el cual se visualiza la siguiente tabla:

Tabla 3. Índices de sinuosidad

<i>Índices de sinuosidad.</i>	
<i>Tipo de canal</i>	<i>Índice de sinuosidad</i>
Canal rectilíneo	1-1,2
Canal transicional	1,2-1,5
Canal regular	1,5-1,7
Canal irregular	1,7-2,1
Canal tortuoso	> 2,1

Fuente: Shumm, 1963.

- **Pendiente media del cauce (S_m)**

Relaciona la diferencia de cotas (máxima y mínima) del cauce principal entre su longitud.

$$S_m = \frac{H_{MAX}-H_{MIN}}{L} \dots\dots\dots \text{(Ecu. 1.6)}$$

1.3.1.2 Proceso de erosión

Vilcahuamán sostiene que:

El análisis del mecanismo de movimiento de una masa de suelo que posteriormente se convierte en un flujo de escombros, tiene una estrecha relación con el proceso de erosión, para lo cual es necesario enfocarse en hipótesis que impliquen las propiedades más preponderantes de falla, una herramienta vital para este análisis es el manejo de un modelo matemático. (2015, p.4)

1.3.1.2.1 Propiedades de los sedimentos

Según Rey (2000, p. 152), “la evaluación de las propiedades de los sedimentos nos revela información importante sobre la sedimentación de los mismos, variabilidad de las condiciones ambientales y climáticas de los últimos siglos”.

A continuación, describiremos algunas propiedades que debemos tomar en cuenta para el desarrollo de esta investigación:

- **Tamaño y forma de partícula:** Ochoa (s.f., p.124) publica su libro Hidráulica de ríos y procesos morfológicos, en donde hace hincapié en que “el tamaño de las partículas es una de las propiedades más importantes de los sedimentos en todas las ecuaciones de movimiento”.
- **Distribución del diámetro de partículas:** el cual refiere al ensayo de granulometría, con el cual obtenemos la curva granulométrica y los porcentajes retenidos en cada malla.

1.3.1.2.2 Inicio del movimiento de sedimentos

Entender las circunstancias o condiciones por la cual alguna partícula del fondo inicia su movimiento a causa de la fuerza de arrastre es un problema complejo, fuertemente relacionado con la erosión. Este instante en donde da inicio el movimiento se denomina umbral. La circulación del fluido origina sobre el cauce una tensión cortante sobre el fondo T_0 . La resistencia que presenta la partícula está en función del diámetro (D) y del peso sumergido ($\gamma_s - \gamma$) construyendo con estas dos variables la ecuación de tensión de corte adimensional T (Jimenez, 2006, p. 79).

$$\bar{\tau} = \frac{\tau_0}{(\gamma_0 - \gamma)D} \dots\dots\dots \text{(Ecu. 1.7)}$$

La ecuación adimensional de corte T admite la fuerza que pretende dar inicio al movimiento, llamada acción de arrastre, con la fuerza estabilizadora o acción del peso. Analizando las fuerzas en equilibrio observadas en un tramo de un cauce de manera longitudinal, el vector

en el eje vertical del peso del volumen de control se opone a la fuerza de rozamiento en el fondo del cauce. (Quincho, 2015, p. 5).

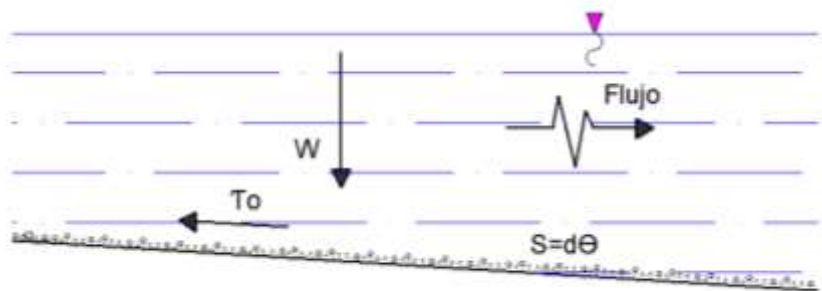


Figura 4. Corte longitudinal de un cauce
(Fuente: Adaptado de Guarín, 2014).

Para una parte de un cauce o canal en estudio, el peso del fluido “W” es semejante al producto del peso específico por el área transversal del cauce.

$$W = \gamma \cdot A \cdot dx \dots \dots \dots \text{(Ecu. 1.8)}$$

Además, ubicamos la componente de fricción por encima del fondo del cauce, expresando la siguiente fórmula:

$$\mu = \tau_o \cdot P \cdot dx \dots \dots \dots \text{(Ecu. 1.9)}$$

Finalmente, obtenemos la siguiente ecuación en equilibrio:

$$\begin{aligned} \tau_o \cdot P \cdot dx &= \gamma \cdot A \cdot dx \\ \tau_o \cdot \frac{A}{R_h} \cdot dx &= \gamma \cdot A \cdot dx \end{aligned}$$

$$\tau_o = \gamma \cdot R_h \cdot S \dots \dots \dots \text{(Ecu. 1.10)}$$

Donde:

- | | | | |
|----------|---|--------------------------|-----------------------|
| γ | = | Peso específico del agua | (Kgf/m ³) |
| S | = | Pendiente media | (m/m) |

R_h	=	Radio hidráulico	(m)
T_o	=	Tensión cortante sobre el fondo	(Kgf/m ²)

1.3.1.3 Estado del flujo

1.3.1.3.1 Velocidad

Las velocidades en un canal abierto no están distribuidas de manera uniforme gracias a la presencia de la superficie libre y la fricción que genera las paredes del cauce.

Ven Te Chow (1994, p.24) menciona que “La máxima velocidad medida en canales a menudo ocurre por debajo de la superficie libre a una distancia de 0.05 a 0.25 centímetros de la profundidad, cuanto más cerca de las bancas, más profundo se encuentra este máximo”.

1.3.1.3.2 Densidad

Para Antón y otros (2016, p. 111), “la densidad de un fluido es la relación entre la masa y un volumen definido el cual la contiene”, y se denota de la siguiente manera:

$$\rho = \frac{m}{v} \dots\dots\dots \text{(Ecu. 1.11)}$$

1.3.1.3.3 Tipos de régimen

El número de Reynolds no es suficiente para caracterizar las clases de flujo en canales abiertos, el mecanismo principal a estudiar es el efecto de la gravedad en un canal natural, ya que este permitirá que el agua fluya. El parámetro adimensional que representa este efecto, es el número de Froude.

$$Fr^2 = \frac{v}{\sqrt{g \cdot D_H}} \dots\dots\dots \text{(Ecu.1.12)}$$

Donde, v es la velocidad media de la sección, g es la aceleración de la gravedad en m/s² y D_H es la profundidad hidráulica.

Este parámetro puede indicarnos cualquiera de los siguientes regímenes de flujo:

- a. **Súper-crítico:** si Fr es mayor a la unidad.
- b. **Crítico:** si Fr es igual a uno.
- c. **Sub-crítico:** si Fr es inferior a la unidad.

1.3.2 Flujo de torrente

Para Saldaña (2018, p. 17) “el flujo de torrente se define como la afluencia inesperada y brusca de una corriente de un fluido, que se forma debido a abundantes precipitaciones, deshielos o fenómenos naturales y que mantiene duraciones relativamente cortas”.

Describimos los flujos de torrente como el desplazamiento abrupto de sedimentos y agua entremezclada que se extiende a lo largo de una zona montañosa como un escurrimiento. Es claro entonces que este fenómeno es la causa más importante del vínculo sedimentación – desastres, la cual ha sido responsable de pérdidas humanas y materiales en las comunidades ubicadas a su cercanía.

Existen tres elementos principales que están siempre presentes en el desencadenamiento de estos fenómenos naturales: fuertes precipitaciones de lluvia, pendientes empinadas y material suelto (sedimentos).

La ocurrencia de flujos de torrente en la cuenca Chilca se suscitó de la siguiente forma:

A causa del Fenómeno del Niño Costero a inicios del año 2017, la cual abarcó los meses de enero y finales de febrero, se presentaron lluvias torrenciales que provocaron la falla de taludes en el cauce principal y la activación de micro cuencas dormidas o tributantes temporales de la cuenca Chilca, a este panorama se le suma las lluvias torrenciales pico que ocurrieron en la parte media y alta de la cuenca y la pendiente promedio equivalente al 14%. Esto causó a la destrucción de terrenos agrícolas próximos al río y la activación de flujos de torrente, arrastrando sedimentos como arena, limo, arcilla y conglomerados, erosionando el cauce del río Chilca en la parte media y alta y la colmatación del cauce en la parte más baja de la cuenca, durante toda su trayectoria hasta su desembocadura en el mar.

El flujo de agua durante su desplazamiento iba cambiando su consistencia pasando a ser un fluido lodoso colina abajo. El fluido se depositaba en las zonas más planas, en la parte baja de la cuenca, pero a causa del aumento y de la intensificación de las lluvias torrenciales en un periodo de tiempo corto, generaba abruptamente la colmatación del cauce, a esto se le adiciona la insuficiencia de estructuras hidráulicas para contrarrestar este fenómeno en el cauce del río, esparciéndose y generando inundaciones en zonas aledañas. La parte baja de la cuenca se vio afectada por el flujo de torrente, perjudicando decenas de instalaciones o edificaciones privadas, calles, sembríos agrícolas, áreas públicas y privadas y sobretodo viviendas rurales.

1.3.2.1 Hidráulica de los flujos de lodos

Según Hampton :

Los flujos de lodo y escombros es la consecuencia de una falla en el talud. Los flujos que se transportan almacenan humedad y luego continúan movilizándose a lo largo de toda la pendiente, éste se dilata o licúa conforme avanza, amplificando el movimiento del fluido. (1972, p. 42).

Takahashi define a los flujos de escombros como:

Los flujos de escombros es un flujo que data desde épocas antiguas constituido por una mezcla viscosa y sedimentos con distintos diámetros, los cantos rodados se ubican en el frente de la mezcla produciendo lóbulos, en la parte anterior se ubican los granos más finos. (1994, p. 165).

Al día de hoy se plantean distintas definiciones sobre los flujos de escombros, principalmente es una composición de sedimentos con agua que recorre fuertes pendientes por motivo de falla en taludes y que mientras avanza incrementa su volumen incorpora rocas, arbustos, troncos, y todo lo que encuentre a su paso.

1.3.2.1.1 Tipos de fluidos

Podemos clasificar los fluidos según su resistencia a las fuerzas tangenciales o cortantes como:

- a. **Fluidos Newtonianos:** La relación entre esfuerzo cortante y la tasa de deformación es lineal como se puede visualizar en la **Figura 5**. Los fluidos newtonianos abarcan a todos los líquidos puros cuya mecánica obedece a este campo con una aceptación de error mínima entre el cálculo de sus ecuaciones y la realidad.
- b. **Fluidos No-Newtonianos:** engloban mezclas con comportamientos muy complejos como barros, aceites muy viscosos flujos de lodos y escombros, breas, etcétera. Este tipo de fluidos adquiere conductas distintas, como se aprecia en la gráfica (B), (C) y (D) en la **Figura 5**.

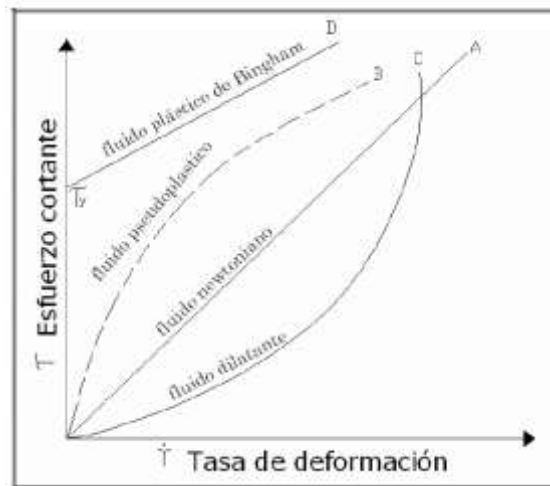


Figura 5. Relación: esfuerzo cortante - tasa de deformación
(Fuente: Adaptado de Aguirre, 1983).

1.3.2.1.2 Composición de flujo de escombros

Los flujos de escombros presentan distintas fases de partículas desordenadas, partículas de aire y agua, todos combinados entre sí. El tamaño de las partículas comprende desde cantos rodados suspendidos hasta finos en un depósito viscoso.

La composición de flujo de escombros está dada por:

- a. **Agua:** Tiene la capacidad de albergar partículas tanto finas como gruesas además de ser un elemento principal para la movilidad de este tipo de flujos.
- b. **Partículas de arcilla:** La arcilla húmeda tiene la propiedad de tener una consistencia baja, contrariamente, cuando está seca es alta. A mayor presencia de arcilla en el suelo, mayor plasticidad del mismo, en consecuencia, la arcilla define al tipo de flujo de lodo que se piensa estudiar teniendo una densidad alrededor de los 2650 Kg/m^3 .
- c. **Granos:** Los granos están constituidos por rocas desintegradas natural o artificialmente, estos elementos adquieren una densidad entre 2650 Kg/m^3 y 2750 Kg/m^3 .

Según la International Society of Soil Science (IUSS), podemos clasificar de manera práctica los granos según su tamaño:



Figura 6. Clasificación de partículas según su tamaño
(Fuente: International Society of Soil Science).

1.3.2.1.3 Clasificación de los flujos de lodos y escombros

Para clasificar los lodos y escombros debemos conocer la concentración del sedimento, el tipo de mecanismo del material y su movimiento.

La clasificación de los flujos de agua-sedimento planteada por Pierson y Costa (1987) define a tres grupos:

- Flujo de corriente ordinario o avenidas de agua
- Flujos Hiperconcentrados
- Flujos granulares

a. Flujos de corriente ordinario

Se presentan con mínimas concentraciones de sedimento y muestran un comportamiento, en su mayoría, de flujos newtonianos. Cuando las concentraciones de sedimentos se incrementan, también se intensifica la interrelación entre sus partículas.

Cuando las arcillas están presentes en los flujos de corriente ordinario, crean acumulaciones debido a la aparición de fuerzas electroquímicas, lo cual causa esfuerzos al fluido.

b. Flujos hiperconcentrados

Los flujos hiperconcentrados están compuestos por una combinación de agua y partículas gruesas (cantos, gravas y arenas), debido a esto, la mezcla no posee cohesión.

Según Gamión (2014, p. 75), menciona que “un flujo es hiperconcentrado si los sedimentos abarcan un rango de 20% a 60% del volumen total, adquiriendo un peso específico alrededor de 2.0 ton/m³”.

c. Flujos granulares

Están compuestas por altas concentraciones de sólidos, se clasifican según (Savage, 1984) en:

- Cuasi estático
- Inercia granular
- Macroviscoso

Adicionalmente distintos autores plantean variadas clasificaciones para los flujos de lodos, líneas abajo expondremos los más relevantes.

- **Meunier (1991)** implementó una clasificación para flujos con pendientes elevadas (entre 30% a 50%) y concentraciones altas, evidenciando el inicio del fenómeno de los huaycos. La hidráulica fluvial acepta pendientes naturales menores al 2%, pero las pendientes hasta el 10% son aceptadas con muy buena aproximación con el empleo de las ecuaciones de la hidráulica convencional.

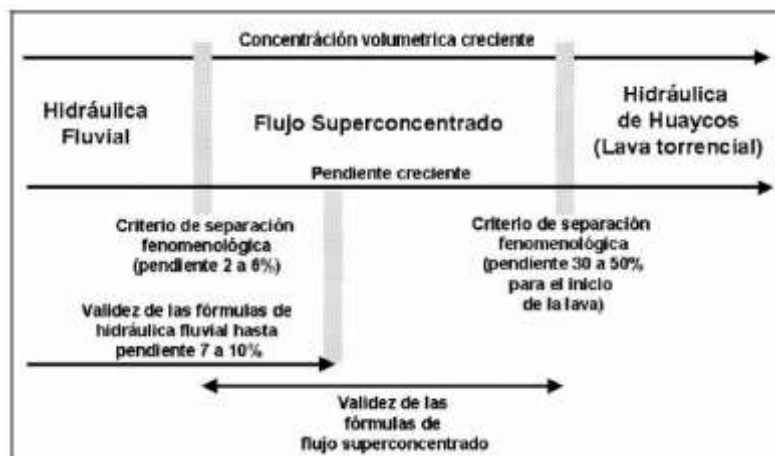


Figura 7. Clasificación de flujos según Meunier
(Fuente: Meunier, 1991).

- **Costa (1988)** define tres tipos de flujo: avenidas de agua (wáter flood), flujos hiperconcentrados y flujo de escombros (debris flow); la distribución de subgrupos que plantea se fundamenta en la concentración del material sólido (Tabla 05). Adicionalmente, Costa genera una clasificación basándose en la reología (Tabla 06).

Tabla 4. *Clasificación de flujos según Costa*

Flujo	Concentración de sedimentos	Densidad de los sólidos (g/cm ³)	τ_y (dn/cm ²)	Tipo de Fluido
Avenida de Agua	1-40% en peso 0.4-20% en volumen	1.01-1.33	0-100	Newtoniano
Flujo hiperconcentrado	40-70% en peso 20-47% en volumen	1.33-1.80	100-400	No Newtoniano
Flujo de escombros	70-90% en peso 47-77% en volumen	1.80-2.30	>400	Viscoplástico

Fuente: Costa, 1988.

Tabla 5. *Clasificación de flujos según Costa*

Flujo	Mayor mecanismo de soporte de los sedimentos	Viscosidad (poise)	Perfil de concentración de sedimentos	Tipo de flujo predominante
Avenida de Agua	Fuerzas electrostática, turbulencia	0.01-20	No uniforme	Turbulento
Flujo hiperconcentrado	Empuje, esfuerzo dispersivo, turbulencia	20-200	No uniforme a uniforme	Turbulento a Laminar
Flujo de escombros	Cohesión, empuje, esfuerzo dispersivo, soporte estructural	>>200	Uniforme	Laminar

Fuente: Costa, 1988.

- **Coussot (1997)**, crea una clasificación de “huaycos” basándose en la granulometría del sedimento y concentración del material sólido. Los deslizamientos de suelos, flujos hiperconcentrados y torrenciales están dentro de esta clasificación.

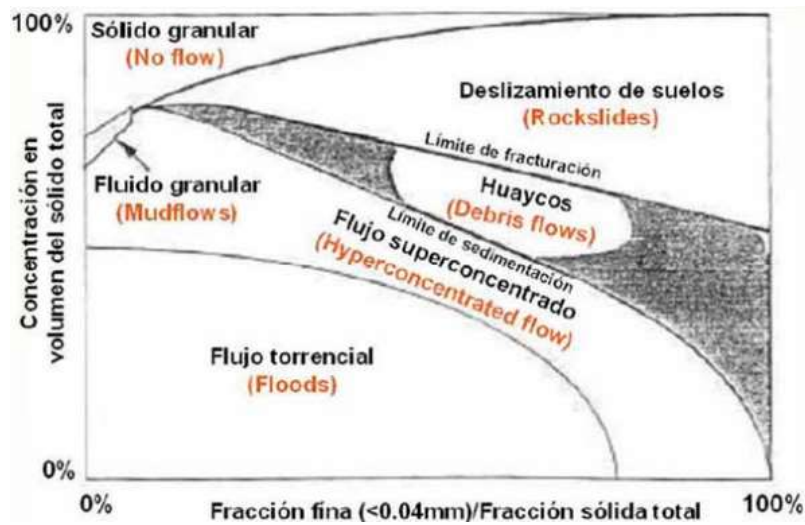


Figura 8. Clasificación de flujos según Coussot
(Fuente Coussot 1997).

- **Jaime Suárez Díaz (2001)**, presenta una clasificación general, basándose en fenómenos de flujos de escombros suscitados anteriormente en distintos lugares.

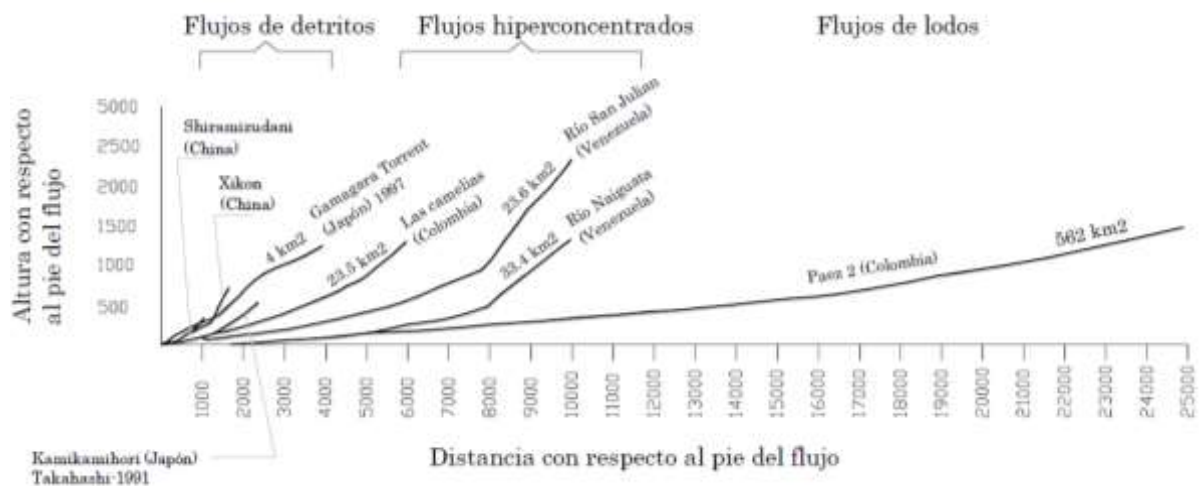


Figura 9. Perfiles longitudinales de eventos ocurridos y su clasificación
(Fuente: Suárez, 2001)

1.3.2.1.4 Propiedades de los flujos

Estos flujos tienen su origen en el aporte masivo de materiales de deslizamientos. Estos materiales involucran aglomeraciones considerables de suelo y rocas entremezclados con agua, dando como resultado un comportamiento hidráulico de carácter complejo.

a. Pendiente: Acorde a una investigación de Costa (1984), los flujos de escombros consiguen discurrir en pendientes que tengan valores mayores al 2%. Naturalmente, las pendientes que presenten una mayor verticalidad son las que hacen que los flujos se tornen más agresivos.

b. Velocidad: La velocidad es determinada mediante la estimación de una sección y de una profundidad de flujo. Intervienen también todas las fuerzas tangenciales que se presenten.

c. Ángulo de deposición

Según Gamión se plantea lo siguiente:

Las partículas al desacelerarse van deteniéndose, aumentan su espesor y luego pasan a sedimentarse. El proceso ocurre debido a la disminución de la pendiente, a un aumento en el ancho del cauce o a la presencia de obstáculos en su recorrido. (2014, p. 52).

1.3.2.2 Caudal líquido

1.3.2.2.1 Transformación Lluvia – Esguerrimiento

Luego de haber obtenido los valores de las precipitaciones en la cuenca y haber realizado la estimación de pérdidas apoyándonos en los modelos matemáticos que se encuentran a disposición en el mercado para el cálculo de la lluvia efectiva, transformamos la totalidad de la lluvia efectiva en esgorrentía o esgurrimiento. Para la conversión se pueden utilizar diferentes métodos, los cuales están mencionados líneas abajo.

1.3.2.2.2 Modelos de Lluvia – Esgurrimiento

Dentro de los modelos de lluvia – esgurrimiento están involucrados los métodos siguientes: métodos empíricos, estadísticos e hidrogramas. Debido a que diversas cuencas del Perú no

cuentan con registros históricos pluviométricos ni aforos de corrientes de agua, los cuales son necesarios para la mayoría de los modelos mencionados anteriormente, tenemos que recurrir a los métodos empíricos. La utilización de estos métodos tiene el aval del Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje emitido por el Ministerios de Transportes y Comunicaciones del Perú.

Para obtener el valor de caudal de diseño, es necesario contar con la data de escurrimiento de la zona que será analizada. Esta información muchas veces no se encuentra disponible o se encuentran alteradas en sus condiciones de drenaje (deforestaciones, zonas urbanas, obras de encauzamiento, etc.) lo que trae como consecuencia que el gasto o caudal varíe. (Gamión, 2014, p. 34).

a. Métodos empíricos

Son métodos que se utilizaron para la obtención de una idea previa del caudal (gasto) de diseño, las cuales han sido desarrolladas a través de la correlación múltiple. Además, es utilizado ante la falta de información hidrométrica en la cuenca, ya que las variables que intervienen en estas ecuaciones son sólo las que corresponden a la geomorfología de la cuenca a estudiar. Algunos ejemplos de estos métodos son: Métodos envolvente de Creager y el Método de Mac Math.

- Método envolvente de Creager

Desarrollado por Creager y adaptado para el Perú por Wolfgang Trau y Raúl Gutierrez (Misión Alemana en el Perú para la Evaluación Potencial Hidroeléctrico Nacional). Este método empleado en estudios por parte de la Asociación Nacional del Agua – ANA), permite la estimación de los caudales máximos diarios en cuencas sin información, para diferentes periodos de retorno, tomando el área de la cuenca como el principal parámetro; mediante la siguiente relación.

$$Q_{max} = (C_1 + C_2) \cdot \text{Log}(T) \cdot A^{mA^{-n}} \dots\dots\dots (\text{Ecu. 1.13})$$

Donde:

C1, C2, m y n = Coeficientes adimensionales para diferentes regiones del Perú.

Q_{máx}, = Caudal máximo

T = Periodo de retorno

Tabla 6. *Valores de los coeficientes adimensionales según la región del Perú*

Nº	Región	Cuenca	C1	C2	m	N
1	Costa Norte (frontera)	Tumbes a Piura	1.01	4.37	1.02	0.04
2	Costa Norte	Cascajal a Santa	0.10	1.28	1.02	0.04
3	Sierra Norte	Alto Marañón	0.27	1.48	1.02	0.04
4	Costa Central	Lacramarca a Camaná- Majes	0.09	0.36	1.24	0.04
5	Costa sur	Quilca a Caplina	0.11	0.26	1.24	0.04
	Titicaca	Titicaca				
6	Sierra Central Sur	Mantaro, ApuCHILCA y Urubamba	0.18	0.31	1.24	0.04
7	Selva	Ucayali, Bajo Marañón, Madre de Dios y Amazonas	0.22	0.37	1.24	0.04

Fuente: ANA- Análisis Regional de Avenidas en los Ríos del Perú

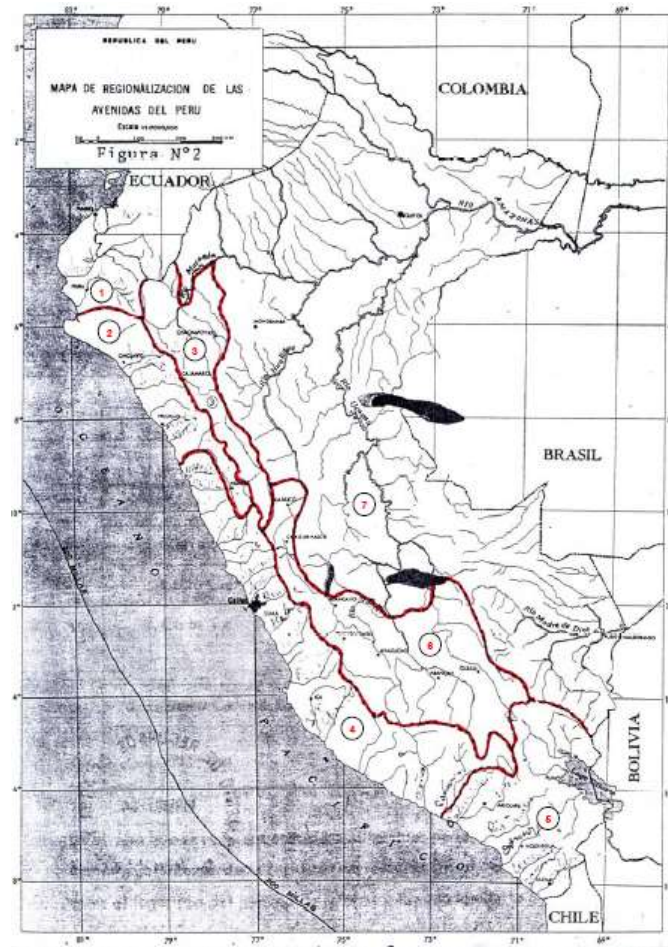


Figura 10. Mapa de regionalización de Avenidas en los ríos del Perú
(Fuente: Trau y Gutierrez, 1979).

- Metodo de Mac Math

Para desarrollar este método se calculará primero el tiempo de concentración, empleando las fórmulas del Servicio de Conservación de Suelos (SCS), Temez y Kirpich.

Tabla 7. Tiempo de concentración

MÉTODO DE SCS	MÉTODO DE TEMEZ	MÉTODO DE KIRPICH
$T_c = (0.871 \left(\frac{L^3}{H} \right))^{0.385}$	$T_c = 0.3(L/S_f^{0.25})^{0.75}$	$T_c = 0.06628(L^{0.77})(S_k^{-0.385})$

Fuente: Propia

Para el cálculo de la intensidad de aplica la siguiente fórmula:

$$I = 2.6934T^{0.2747}Tc^{0.3679} \dots\dots\dots(\text{Ecu. 1.14})$$

Luego, el caudal se calculará de la siguiente fórmula:

$$Q = 0.001CIA^{0.58}S^{0.45} \dots\dots\dots(\text{Ecu. 1.15})$$

b. Métodos semi-empíricos

La diferencia entre los métodos semi-empíricos y los empíricos es que en los primeros se integra la intensidad de lluvia dentro de la relación que sirve para definir al caudal máximo. Ejemplo de estos métodos son: el Método Racional y el Método de Ven Te Chow.

c. Métodos estadísticos

Son métodos es muy útiles en situaciones en las que tenemos zonas con buen registro hidro meteorológicos. Lo que este método realiza es una correlación entre los registros históricos existentes en las estaciones hidrométricas y las diferentes distribuciones de probabilidad que puedan existir como, por ejemplo: Gumbel, Exponencial, Ganma, Pearson tipo II, entre otras.

1.3.2.3 Medidas de protección

Cada año en el Perú se manifiesta el Fenómeno del Niño Costero, incrementando su magnitud en estos últimos años; identificando la lluvia como una amenaza, tenemos por consecuente el aumento de la probabilidad de presencia de flujos de lodos en cuencas como Chilca, la cual no está preparada para enfrentar fenómenos naturales de este tipo. Para proponer algún tipo de medida de protección óptima, primero partamos por analizar los peligros que acogen a esta zona de estudio.

1.3.2.3.1 Peligros

a. Deslizamiento

Los deslizamientos se producen en laderas con pendientes pronunciadas y con suelo insaturado bajo la infiltración de agua de lluvia, estos deslizamientos en su mayoría son poco profundos. (Huang, 2016, p.29).

Los deslizamientos se inician en la roca, suelo o combinación de ambos, a través de una superficie cóncava o plana, donde una porción de volumen de suelo se desliza ladera abajo a distancias variables.

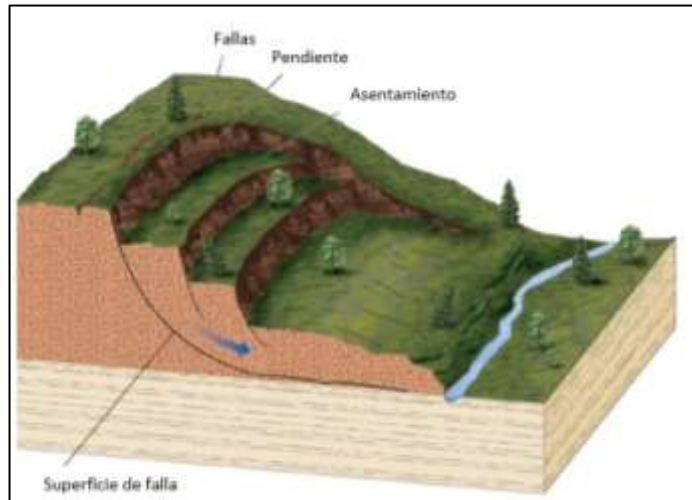


Figura 11. Deslizamiento Rotacional
(Fuente: Thomson, 2006).

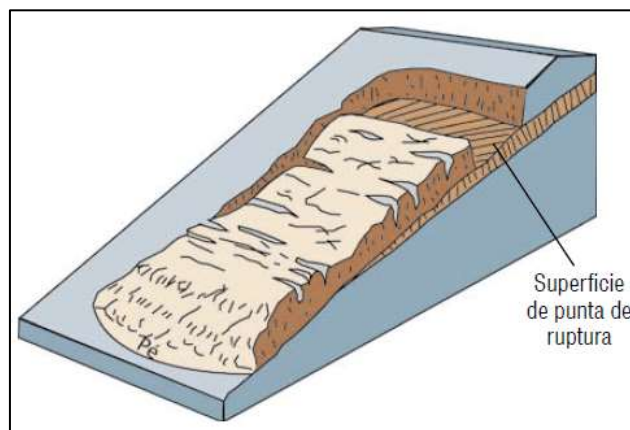


Figura 12. Deslizamiento Traslacional
(Fuente: Salas, 2014).

b. Inundaciones

Las inundaciones se inician cuando las precipitaciones continuas o intensas sobrepasan la capacidad de saturación del suelo, volumen máximo del cauce del río es rebasado produciendo desbordes. Todo esto ocasiona daños a los bienes y en algunos casos a la vida de los habitantes de la zona.



Figura 13. Inundación en Piura por el Fenómeno del Niño
(Fuente: Diario Gestión, 2017).

c. Flujos

Los flujos son movimientos de masas que mantienen un comportamiento distinto o parecido al del agua, estos flujos de lodos presentan un porcentaje de piedras, granos, arcillas, dependiendo de la topografía y geología del lugar. Los flujos poseen una amplia clasificación, las cuales se menciona en el punto 1.3.2.1.3.



Figura 14. Flujo de corriente ordinario – Chilca 2017
(Fuente: propia)

1.3.2.3.2 Medidas estructurales

Cárdenas expone que:

Las obras de protección estructurales se emplean para salvaguardar alguna estructura u obra de arte evitando los procesos de erosión, producto de la excesiva velocidad del flujo de agua y sedimentos. Para la propuesta y diseño de estas obras es primordial tener conocimiento del comportamiento de la corriente. (2012, p. 48).

a) Espigones

Los espigones alejan de la orilla las líneas de corriente que provocan erosión de las márgenes del cauce, creando zonas de calma relativa. Los espigones se diseñan en forma de L, T, rectos o curvos, según la necesidad a la que se destine.

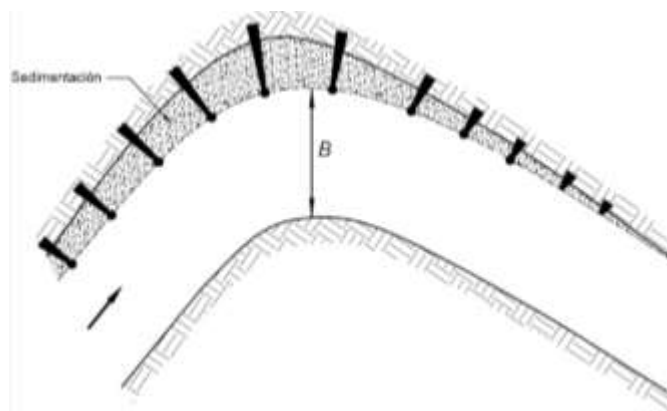


Figura 15. Colocación de espigones en cambio de dirección de un cauce
(Fuente: Arocha, 1998).

b) Revestimientos marginales

Para Moreno (2013, p. 39) “los revestimientos marginales son estructuras de protección que se sitúan a las márgenes del cauce y así poder evitar la socavación producida por la corriente, evitando su contacto directo”. Estos revestimientos pueden ser de enrocados o de gaviones



Figura 16. Colocación de enrocados en las márgenes del Río Rímac
(Fuente: ANA, 2017)

c) Gaviones

Según Maccaferri (2018, p. 2) “Estas estructuras pueden ser utilizadas en diversas situaciones, gracias a su versatilidad como solución eficiente en la ingeniería, produciendo estructuras flexibles, resistentes, monolíticas y permeables, son utilizadas para el control y protección de la erosión”.



Figura 17. Gaviones
(Fuente: Maccaferri, 2018)

1.3.2.3.3 Medidas no estructurales

Según García (2013, p. 11) “estas medidas, a diferencia de las obras estructurales, no intervienen sobre la avenida en sí, más bien modifican la susceptibilidad del área propensa a inundarse”. A continuación, plantearemos algunas propuestas adecuadas a nuestro caso en estudio:

- a) Control del futuro desarrollo en la zona inundable, esto se puede poner en practica al limitar los usos de suelo dentro de la faja marginal estimada.
- b) Implementación de un buen mecanismo de respuesta, por ejemplo: instalando sistemas de alerta de avenidas en las comunidades más vulnerables, y así obtener un plan de evacuación adecuado.
- c) Descolmatación del cauce natural, esta medida se refiere a la limpieza y ensanchamiento del cauce natural; muchas veces el cauce se ve reducido por apropiación de los mismos pobladores para fines agrícolas, botaderos de basura o material de construcción, incluso el mismo material que rio arrastra de aguas arriba.

1.3.2.4 Modelo numérico

Iber es un software de simulación de flujos turbulentos en lámina libre para régimen no estacionarios, también es utilizado para el análisis de aguas en procesos medioambientales.

El rango de aplicación de este modelo numérico abarca la simulación de rotura de presas, hidráulica fluvial, cálculo de transporte de sedimentos, evaluación de zonas inundables y flujo de marea en estuarios.

Iber consta en su última actualización de tres módulos: módulo de turbulencia, modulo hidrodinámico y un módulo de transporte de sedimentos. Todos estos se simulan sobre una superficie (malla no estructurada) de elementos finitos triangulares o cuadráticos.

Es de mayor relevancia para esta investigación las ecuaciones de aguas someras en dos dimensiones (ecuaciones de St. Venant 2D) para el módulo hidrodinámico y el transporte de sedimentos resuelve las ecuaciones de transporte de fondo y en suspensión en flujos turbulentos (ecuaciones de Meyer-Peter Muller y de Van Rijn)

1.3.2.4.1 Ecuaciones hidrodinámicas

Desarrolla las ecuaciones de conservación de masa y momento bidireccional:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial h U_x}{\partial x} + \frac{\partial h U_y}{\partial y} = M_s \dots\dots\dots (\text{Ecu. 1.14})$$

$$\frac{\partial h U_x}{\partial t} + \frac{\partial h U_x^2}{\partial x} + \frac{\partial h U_y U_x}{\partial y} = -h g \frac{\partial Z_s}{\partial x} + \frac{\tau_{s,x}}{\rho} - \frac{\tau_{b,x}}{\rho} - \frac{g h^2}{2\rho} \frac{\partial \rho}{\partial x} + 2\Omega \sin(\lambda) U_y + \frac{\partial h \tau_{xx}^e}{\partial x} + \frac{\partial h \tau_{xy}^e}{\partial y} + M_x \dots\dots\dots (\text{Ecu. 1.15})$$

$$\frac{\partial h U_y}{\partial t} + \frac{\partial h U_x U_y}{\partial x} + \frac{\partial h U_y^2}{\partial y} = -h g \frac{\partial Z_s}{\partial y} + \frac{\tau_{s,y}}{\rho} - \frac{\tau_{b,y}}{\rho} - \frac{g h^2}{2\rho} \frac{\partial \rho}{\partial y} - 2\Omega \sin(\lambda) U_x + \frac{\partial h \tau_{xy}^e}{\partial x} + \frac{\partial h \tau_{yy}^e}{\partial y} + M_y \dots\dots\dots (\text{Ecu. 1.16})$$

En donde h es el calado, U son las velocidades horizontales en ambas direcciones, g es la aceleración de la gravedad, τ_s es la fricción del viento en la superficie libre, Z_s es la elevación de la lámina libre, τ_b es la fricción en el fondo del cauce, ρ es la densidad del agua, λ es la altitud de un punto, Ω es la velocidad de rotación de la Tierra, las τ^e son las tensiones tangenciales efectivas horizontales y M_s , M_x , M_y son respectivamente los términos de fuente, sumidero de masa y de momento, por los cuales se modela la precipitación, infiltración y sumideros.

1.3.2.4.2 Fricción de fondo

El fondo aplica una fuerza de rozamiento sobre el flujo de agua, el cual en hidráulica las rugosidades del fondo son elevadas.

La fricción del fondo del cauce genera dos efectos en las ecuaciones de simulación del flujo, por una parte, aplica una fuerza de fricción que disminuye la velocidad media y por otro lado también produce turbulencia.

A continuación, presentamos la ecuación de la velocidad de fricción que no es más que una forma de representar la tensión tangencial en el fondo con unidades de velocidad.

$$U_f = \sqrt{\frac{\tau_b}{\rho}} \dots\dots\dots (\text{Ecu. 1.17})$$

Siendo τ_b el módulo de la fuerza de fricción del fondo y ρ la densidad.

En los modelos de dos dimensiones el radio hidráulico no se calcula como el área de la sección mojada entre el perímetro mojado, ya que no tiene sentido definir las secciones transversales. Entonces el radio hidráulico quedaría definido por:

$$R_h = \frac{A}{P_m} = \frac{h \cdot \Delta x}{\Delta x} = h \dots\dots\dots (\text{Ecu. 1.18})$$

Por lo tanto, en los modelos numéricos bidimensionales es lo mismo hablar de radio hidráulico y de calado de malla.

Además, la fórmula de Manning en Iber se denota como:

$$C_f = g \cdot \frac{n^2}{h^{1/3}} \dots\dots\dots (\text{Ecu. 1.19})$$

1.3.2.4.3 Transporte de sólido no estacionario

El modelo numérico Iber, desarrolla las ecuaciones de transporte de sedimentos no cohesivos en régimen no permanente. Se resuelven tanto las ecuaciones de transporte de fondo y las de transporte en suspensión, modelándose el acoplamiento de ambos mecanismos.

El caudal sólido de los sedimentos se analiza a través de una formulación empírica, pudiéndose elegir entre la formulación de Meyer-Peter Muller y la de Van Rijn; los sedimentos en suspensión se modelan mediante la ecuación de transporte turbulento promediada en profundidad.

En la ecuación de Meyer-Peter Müller (1948), deducida para fondos de grava de hasta 30mm de diámetro, el cálculo del caudal sólido se define como:

$$q_{sb} = 8 \cdot (\tau_{bs} - \tau_c)^{\frac{3}{2}} = 8 \cdot (\tau_{bs} - \tau_c)^{3/2} \dots\dots\dots (\text{Ecu. 1.20})$$

Y en su forma adimensional se expresa de la siguiente manera:

$$q_{sb} = \frac{q_{sb}}{\sqrt{(\frac{\rho_s}{\rho} - 1) \cdot g \cdot D_s^3}} \dots\dots\dots (\text{Ecu. 1.21})$$

Para la ecuación de Van Rijn el caudal sólido se calcula mediante:

$$T < 0.3 \rightarrow q_{sb} = 0.053 \cdot \frac{T^{2.1}}{D^{0.3}} \dots\dots\dots (\text{Ecu. 1.22})$$

$$T > 0.3 \rightarrow q_{sb} = 0.1 \cdot \frac{T^{1.5}}{D^{0.3}} \dots\dots\dots (\text{Ecu. 1.23})$$

Donde T es un valor adimensional que mide el exceso de fricción de fondo superado por el valor crítico que define el umbral de movimiento:

$$T = \frac{\tau_{bs} - \tau_c}{\tau_c} \dots\dots\dots (\text{Ecu. 1.24})$$

Además, el diámetro adimensional se expresa como:

$$D = D_s \cdot \left(\frac{g \cdot (\gamma_s - \gamma)}{\gamma v^2} \right)^{1/3} \dots\dots\dots (\text{Ecu. 1.25})$$

1.3.2.4.4 Zonas inundables

Se entiende por zonas inundables las áreas delimitadas por los niveles teóricos que alcanzan las aguas simuladas en las avenidas extraordinarias con periodos de retorno de quinientos años. Para que se produzca este efecto se debe cumplir con las siguientes condiciones:

- Que el calado de la malla sea superior a 1m
- Que la velocidad sea superior a 1 m/s
- Que el producto de ambas variables sea superior a 0.5 m²/s

1.4 Formulación de los problemas

1.4.1 Formulación del problema general

¿Cómo reproducimos el flujo de torrente para rededir el mecanismo de deposición en la zona de descarga, Caso: Dren Norte - Chilca?

1.4.2 Formulación de los problemas específicos

- ¿De qué manera determinamos el flujo de torrente para observar su comportamiento en la caracterización de la cuenca en la zona de descarga, Caso: Dren Norte - Chilca?
- ¿Qué efectos tiene el flujo de torrente sobre las áreas de erosión en la zona de descarga, Caso: Dren Norte - Chilca?
- ¿Cómo afecta el flujo de torrente según su estado en la zona de descarga, Caso: Dren Norte - Chilca?

1.5 Justificación de la investigación

1.5.1 Justificación social

La investigación planteada ayudará al pronóstico de las zonas que serán más afectadas ante los flujos de lodo, efecto producido por precipitaciones anómalas en la zona de Chilca, de esta manera se puede prevenir a los habitantes ante catástrofes como las que se presenciaron en los primeros meses de 2017 a causa del Fenómeno El Niño.

1.5.2 Justificación práctica

Esta investigación contribuirá con una propuesta de obras de protección para minimizar el impacto que genera esta clase de flujos, aumentando la seguridad para sus pobladores e industrias ante fenómenos naturales en la zona Dren Norte – Chilca.

1.5.3 Justificación Metodológica

La investigación planteada propone un estudio de caudales máximos por métodos empíricos, así como un estudio de simulación en dos dimensiones para analizar el comportamiento del flujo de torrente. Además, se anexa una de las nuevas técnicas de aproximación de transporte de sedimentos.

1.6 Hipótesis

1.6.1 Hipótesis general

Si reproducimos los flujos de torrente predecimos el mecanismo de deposición en la zona de descarga, Caso: Dren Norte - Chilca.

1.6.2 Hipótesis específicas

- Si determinamos el flujo de torrente se observará su comportamiento en la caracterización de la cuenca en la zona de descarga, Caso: Dren Norte – Chilca.
- Si simulamos el flujo de torrente se ubicarán las áreas de erosión en la zona de descarga, Caso: Dren Norte – Chilca.
- Si modelamos el flujo de torrente se analizará el estado del flujo en la zona de descarga, Caso: Dren Norte – Chilca.

1.7 Objetivos

1.7.1 Objetivo general

Reproducir el flujo de torrente para predecir el mecanismo de deposición en la zona de descarga, Caso: Dren Norte - Chilca

1.7.2 Objetivos específicos

- Determinar el flujo de torrente para observar su comportamiento en la caracterización de la cuenca en zona de descarga, Caso: Dren Norte - Chilca.
- Simular el flujo de torrente para ubicar las áreas de erosión en la zona de descarga, Caso: Dren Norte - Chilca.
- Modelar el flujo de torrente para analizar su estado en la zona de descarga, Caso: Dren Norte - Chilca.

II. MÉTODOS

2.1. Diseño de investigación

2.1.1. Método

Para Behar (2008, p. 40), “el método de investigación hipotético – deductivo se fundamenta en manifestar la veracidad o falsedad de la hipótesis, desde la confirmación o falsedad de las consecuencias observadas”.

El **método hipotético – deductivo** es el procedimiento que aplica el investigador para que su trabajo sea una práctica científica. El método hipotético deductivo entrelaza la reflexión racional con la observación.

2.1.2. Tipo de la investigación

Lozada (2014, p. 35) expone que “la investigación aplicada tiene por objetivo la producción de conocimiento con una aplicación directa en la sociedad. Este tipo de investigación adquiere un gran valor agregado por la utilización del conocimiento que proviene de la investigación básica”.

La *investigación aplicada*, tiene el propósito de la recopilación y obtención de información proveniente de la investigación básica con la finalidad de dar origen a resolución de una problemática en un contexto tangible.

2.1.3. Nivel de investigación

Según Valderrama (2013, p.83), “establece los siguientes niveles de investigación: explicativo, predictivo, exploratorio y descriptivo”.

La *investigación explicativa* es aquella que posee una relación causal, y expone más que solo una descripción de un problema, más bien trata en obtener los principios fundamentales del mismo.

2.1.4. Diseño

Para Hernández (2010, p.149) argumenta que “se plantea que una investigación es no experimental en el momento que no se manipula voluntariamente las variables”, es decir, no modificamos las variables independientes para poder estudiar sus efectos sobre alguna otra variable.

Una investigación **no experimental** se apoya en analizar fenómenos en su puro entorno natural, de tal manera que no se manipula ninguna variable de manera intencional.

2.2. Variables y operacionalización

2.2.1 Variables

Se plantean las siguientes variables:

Variable dependiente: Inundación

Variable independiente: Flujo de torrente

2.2.2 Operacionalización

La matriz la podemos observar en el **ANEXO 1**.

2.3. Población y muestra

2.3.1. Población

Coral (2014, p. 4) propone que “la población se refiere al conjunto de elementos investigados para un estudio, para los cuales las conclusiones obtenidas serán efectivas”.

En la presente investigación, la población es La Cuenca Chilca, en el Distrito de Cañete, Departamento de Lima.

2.3.2. Muestra

Coral (2014, p. 5) plantea que “la muestra es el conjunto de casos extraídos de una población, seleccionado por algún método de muestreo [...] siempre es una parte de la población”

En la presente tesis la muestra estaría conformada por un tramo de 2.3 Km en la zona del Dren Norte en la Cuenca Chilca, en el Distrito de Cañete, Departamento de Lima; ya que en esta zona se están asentando parques industriales de grandes empresas y la población va en aumento cada año, aumentando la vulnerabilidad de las estructuras ante flujos de torrente.

2.3.3. Tipo de muestreo

Guillén y otros (2017, p. 68) nos manifiesta que “se refiere cuando las muestras son escogidas al azar y se argumentan en suposiciones generales sobre la racionalización de las variables en la población”.

Esta investigación presenta un muestreo ***no probabilístico*** ya que su procedimiento no será mecánico ni en base a probabilidades y será escogido con el criterio del investigador.

2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad.

2.4.1. Técnica

Según Maraví Lindo (2009), “hay diversas formas de recolectar datos e información, lo importante de estas técnicas es que se complementen, entre estas se encuentra la observación, entrevista, encuesta y pruebas con estándares”. (p. 28)

Para esta tesis se utilizará la técnica de observación de forma directa, con el propósito de recopilar la información de campo.

2.4.2. Instrumentos de recolección de datos

Según Mendoza Castillo (2014), “Para la utilización de los instrumentos de recolección de datos, se presenta un mecanismo para recolectar y registrar la información”. Se emplea la siguiente tabla en donde figura la información de: diagnóstico, metodología y análisis de datos, adicionalmente se elaboró una ficha de recolección de datos, ver **ANEXO 2**.

Tabla 8. Instrumentos de medición

Dimensiones	Instrumento		
	Diagnóstico	Metodología	Análisis de Resultados
Proceso de erosión	Revisión de la teoría	Recolección de datos	Trabajo de gabinete
Transporte de sedimentos	Antecedentes	Recolección de datos de campo	Trabajo de campo - descriptivo
Caracterización de la cuenca	Recolección de datos	Procesamiento de datos	Trabajo de gabinete y de campo
Hidráulica de los flujos de lodos	Antecedentes y topografía	Observación, recolección en campo	Trabajo de gabinete y de campo
Hidrología aplicada	Estudio del tema y análisis	Observación y procesamiento	Trabajo de gabinete
Modelo numérico	Modelamiento con un software óptimo	Modelamiento y calibración	Trabajo de gabinete
Medidas de protección	Resultados del modelo numérico	Observación e interpretación	Trabajo de gabinete

Fuente: Propia

2.4.3 Validez

Para esta investigación la validación fue dada con la información recopilada de fuentes confiables como: ANA, INGEMMET, SENAMHI, artículos y revistas de investigación y tesis o estudios de diversos autores. Una vez obtenidos los resultados de los ensayos de laboratorio de las muestras de suelos, el procesamiento hidrológico y la topografía, éstos tendrán una confiabilidad suficiente, con al cual se determinará la solución al problema de la investigación, logrando alcanzar los objetivos planteados mediante el modelo numérico

propuesto. También se llevó a revisión la ficha de recolección de datos por medio de profesionales competentes para su aprobación.

“Una opinión informada de profesionales destacados en el tema, que son reconocidas por otros como expertos cualificados en éste, y que pueden dar información, evidencia, juicios y valoraciones” (Escobar y Cuervo, 2008, pag.29).

Tabla 9. Rangos y magnitudes de confiabilidad

Rangos	Magnitud
0,81 a 1,00	Muy Alta
0,61 a 0,80	Alta
0,41 a 0,60	Modorada
0,21 a 0,40	Baja
0,01 a 0,20	Muy Baja

Fuente: Ruiz, 202

Tabla 10. Índice de validez – juicio de expertos

N° DE REGUNTA	PUNTAJE 1	PUNTAJE 2	PUNTAJE 3
Pregunta 1	0.13	0.14	0.14
Pregunta 2	0.14	0.13	0.14
Pregunta 3	0.14	0.14	0.13
Pregunta 4	0.14	0.13	0.13
Pregunta 5	0.13	0.13	0.14
Pregunta 6	0.14	0.14	0.14
Pregunta 7	0.14	0.14	0.13
Σ	0.96	0.95	0.95
Promedio = 0.95			

Fuente: Propia

2.5 Métodos de análisis de datos

El método empleado es *cuantitativo*, de modo que utiliza la estadística prospectiva e inferencial.

En esta investigación se analizarán los datos de la siguiente manera: emplearemos un software para adquirir la topografía total de la cuenca, y fotogrametría de la zona específica de estudio, se harán ensayos de laboratorio para la determinación de granulometría del suelo en el fondo del cauce, emplearemos una hoja de cálculo para determinar los caudales máximos en distintos periodos de retorno.

Finalmente, con toda esta información, alimentaremos los datos de entrada del modelo numérico Iber y así poder generar distintos escenarios para diferentes periodos de retorno y de esta manera podremos verificar nuestras hipótesis.

2.6 Aspectos éticos

En esta investigación se respeta la veracidad de la información contenida, también se ha empleado la estructura de referencias bibliográficas y citado implementadas por la norma ISO, al finalizar los resultados, los datos serán explicados empleando gráficos y tablas para una discusión, comparación y resultado final apropiados.

III. RESULTADOS

3.1 Descripción de la zona

El área de estudio políticamente se encuentra ubicado en los distritos de Chilca provincia de Lima y Santo Domingo de los Olleros en la Provincia de Huarochirí.

Geográficamente se encuentra ubicada entre los paralelos $11^{\circ} 55''$ y $12^{\circ} 35''$ de Latitud y entre los meridianos $76^{\circ} 50''$ a $76^{\circ} 00''$ de longitud oeste y está asignada su delimitación con el código 1375532 establecido por la Autoridad Nacional del Agua (ANA).

La cuenca del río Chilca se origina en la vertiente occidental de la cordillera de los Andes a una altitud máxima de aproximadamente 4,000 metros sobre el nivel del mar al nivel de los cerros Tres ventanas, los cuales confluyen formando dos quebradas denominadas Cuculí y Cucayacu, desembocando por el poblado de Chilca, en el océano Pacífico. El área total de captación es de 783.44 km².



Figura 18. Imagen satelital de la Cuenca Chilca.

(Fuente: Propia)

El tramo a analizar consta de 2.3 Km del Dren Norte, en la parte baja de la cuenca, en donde se aprecia la expansión de zonas rurales, zonas de cultivo en medio del cauce natural y crecimiento de parque industriales, así como también una termo-eléctrica y sus antenas de alta tensión, las cuales son estructuras importantes de salvaguardar.



Figura 19. Zona de estudio – Dren Norte.

(Fuente: Propia)

3.1.1 Vegetación

La cobertura vegetal en la zona alta de la cuenca presenta matorrales y praderas alto andinas, en la zona media de la cuenca se tiene escasa vegetación, y en la parte baja observamos una vegetación natural casi nula exceptuando las zonas que han sido cultivadas por la población.

3.1.2 Clima

A nivel regional el clima es variado, propio del piso altitudinal de la faja costera, donde se tienen temperaturas mayores a los 25° en los meses de verano, para descender hasta los 10° a 12° en los meses de invierno, donde hay nubosidades importantes.

Las lluvias estacionales, a manera de lloviznas que caen en la Costa, están también relacionadas con el clima en general. Las lluvias mayores caen en la cuenca de recepción y curso medio de la cuenca Chilca, que tiene nacientes en la línea de cumbres de la vertiente occidental de la Cordillera de la Costa, a una cota superior a los 4,000 msnm.

La presencia del Fenómeno de El Niño severo en la región Lima - Ica sin duda generará una alteración del clima en general, con probables enfriamientos del ambiente por las lluvias que llegarían hasta la línea de Costa

3.2 Determinación del flujo de torrente para observar su comportamiento en la caracterización de la cuenca

3.2.1 Clasificación del sistema

En función a su tamaño, la Cuenca de Chilca posee un área total de 783.44 Km², es decir, 78344 Ha. lo cual clasifica a este sistema como *cuenca*, además posee un perímetro de 167.93 Km.

En función a su sistema de drenaje, podemos denominar a esta cuenca como *exorreica*, ya que sus aguas desembocan en un sistema mayor de drenaje, en este caso, el Océano Pacífico.

3.2.2 Parámetros morfológicos

Los parámetros geomorfológicos obtenidos a partir de la topografía total de la cuenca y su procesamiento mediante diversos softwares, los planteamos a continuación:

Tabla 11: *Parámetros de forma de la cuenca*

ITEM	PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
a)	Área total de la cuenca	Km ²	783.44
b)	Perímetro de la cuenca	Km	167.93
c)	Índice de compacidad (Kc)	-	1.69
d)	Factor de forma (FF)	-	0.25
e)	Relación de circularidad (Rc)	-	0.35
f)	Longitud del cauce principal (Lc)	Km	62.78
g)	Centro de gravedad (C.G.)	Eje X:	332970.8739
		Eje Y:	8633986.389
h)	Longitud al centro de gravedad (L _A)	Km	32.08

Fuente: Propia

Las características físicas de una cuenca hidrográfica están definidas por diversos factores que determinan el comportamiento de la escorrentía en un curso de agua. El conocimiento de esas características determina la naturaleza de descarga de los ríos, debido a su índice de compacidad (Kc) interpretamos que esta cuenca tiende a ser irregular, además que por su factor de forma (FF) y relación de circularidad (Rc) la cuenca es alargada y tiende a ser rectangular.

i) Curva Hipsométrica

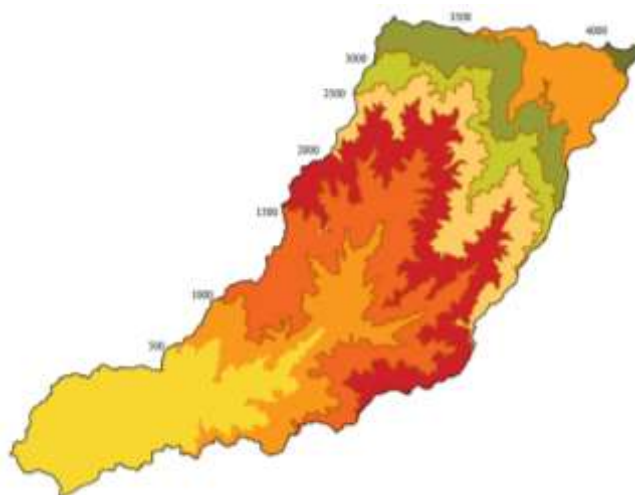


Figura 20. *Áreas parciales de la Cuenca Chilca.*

(Fuente: Propia).

Tabla 12: Áreas parciales y acumuladas

ALTITUD	AREAS PARCIALES		AREAS ACUMULADAS			
			POR DEBAJO		POR ENCIMA	
m.s.n.m.	Km2	(%)	(KM2)	(%)	KM2	(%)
Punto más bajo						
0	0.00	0.00	0.00	0.00	783.44	100.00
500	3.85	0.49	147.80	18.87	779.60	99.51
1000	55.05	7.03	252.27	32.20	724.55	92.48
1500	62.20	7.94	406.27	51.86	662.35	84.54
2000	49.58	6.33	529.02	67.52	612.77	78.21
2500	83.75	10.69	612.77	78.21	529.02	67.52
3000	122.75	15.67	662.35	84.54	406.27	51.86
3500	154.00	19.66	724.55	92.48	252.27	32.20
4000	104.47	13.33	779.60	99.51	147.80	18.87
4500	147.80	18.87	783.44	100.00	0.00	0.00
Punto más alto						
TOTAL	783.45	100.00				

Fuente: Propia

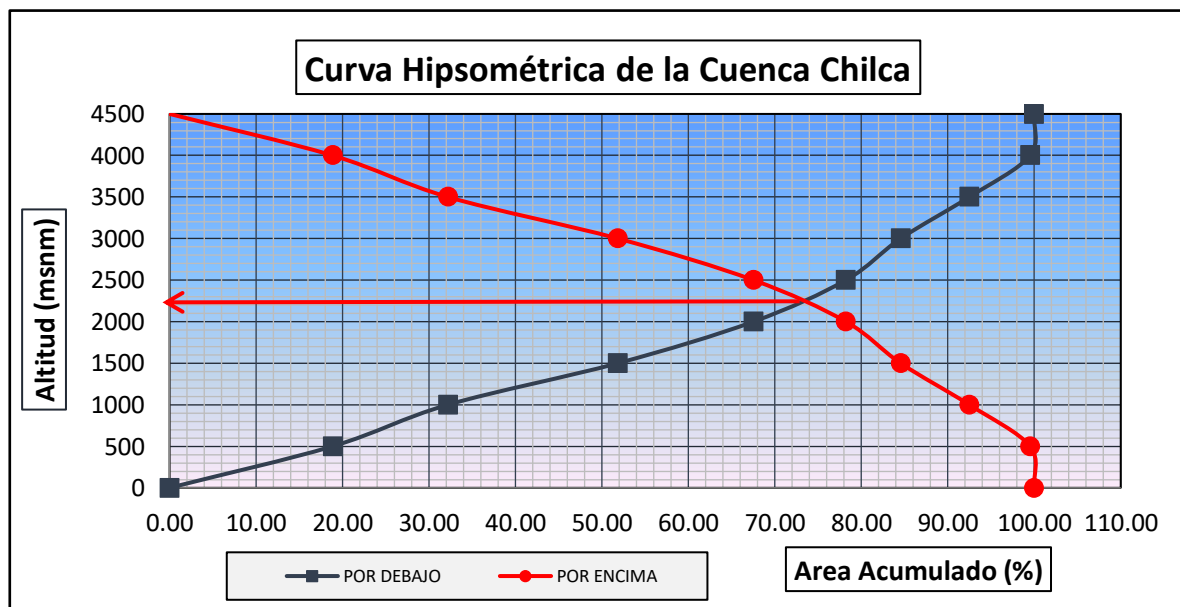


Figura 21. Curva hipsométrica

(Fuente: Propia).

b) Sinuosidad del cauce principal

Se obtiene de la división de la longitud natural del cauce entre su medición en línea recta, en nuestro caso, adquiriendo un valor de **1.15**, lo cual se refiere a un canal rectilíneo.

c) Pendiente media del cauce

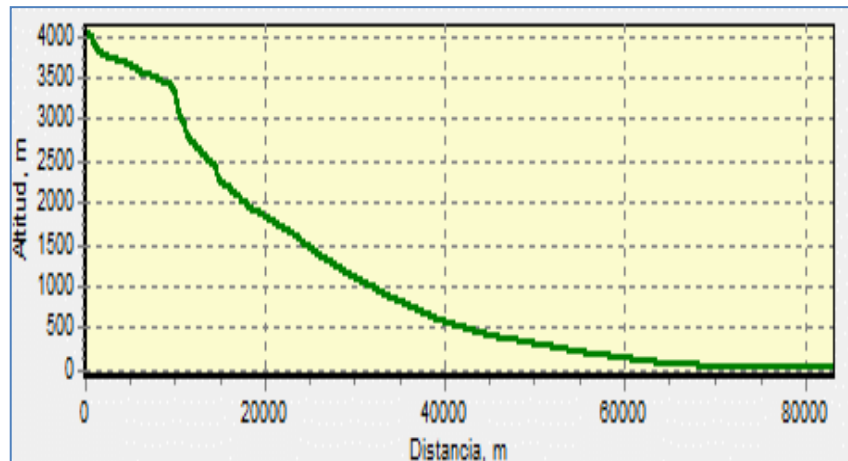


Figura 23. Pendiente del cauce principal

(Fuente: Propia).

Asocia la diferencia de cotas máxima y mínima con la longitud total del cauce, dando como resultado un valor de **6.56%**.

d) Pendiente del terreno

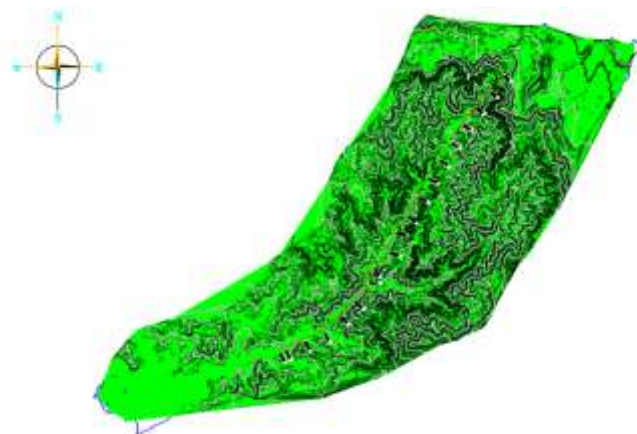


Figura 24. Mapa de gradientes

(Fuente: Propia – Civil3D)

La pendiente del terreno promedio de toda la cuenca se calculó en Civil 3D, adquiriendo un valor de **26%**.

3.2.4 Parámetros geológicos

La cartografía geológica regional elaborada por el INGEMMET describe las siguientes formaciones geológicas para el área de Chilca y su entorno inmediato:

a) Rocas sedimentarias:

Formación Chilca (Ki-ch): Tanto hacia el norte como hacia el sur de la planicie aluvial de la quebrada Chilca hay afloramientos de lomadas y cerros bajos formados por una secuencia de rocas volcánico sedimentarias, constituidas por calizas y derrames volcánicos tipo andesitas.

La secuencia inferior tiene niveles de calizas que se pierden lenticularmente en dirección noroeste. Sobre las calizas se tienen bancos de areniscas con matriz calcárea y horizontes conchíferos. Encima de las calizas se presenta un horizonte conglomerádico con cantos pequeños y medianos.

b) Rocas Intrusivas:

Este tipo de rocas primarias, en el cuadrángulo de Lurín y entorno del terreno que se estudia, se localizan en el lado norte y sur de la quebrada Chilca y forman parte de los importantes afloramientos de rocas intrusivas de la Cordillera de la Costa.

En el entorno del terreno que se estudia, las rocas intrusivas, que son intrusiones sub volcánicas, se localizan al norte y sur de la quebrada Chilca y se presentan en forma de diques, que pueden corresponder o ser parte de manifestaciones intrusivas mayores.

c) Depósitos de materiales cuaternarios:

La amplia planicie de la quebrada Chilca se constituye en el gran depósito de materiales recientes, que han sido desintegrados de la cuenca superior, transportados y depositados en los lugares de menor pendiente, hasta su entrega en el mar.

La naturaleza litológica de estos materiales es variada, teniéndose desde rocas intrusivas tipo granitos, tonalitas, dioritas (que son las que más abundan por su mayor dureza), hasta arenas, limos y arcillas.

3.2.5 Hidrología por métodos empíricos

Los cálculos de los caudales máximos se realizarán para el río Chilca considerando sus principales afluentes las quebradas de Cucayacu y Cuculí, pero la Cuenca de Chilca no cuenta con estaciones meteorológicas dentro de la propia cuenca hasta la fecha, ya que ha estado inactiva por varios años, incluso provocando una intrusión de aguas marinas, aumentando la salinidad de sus suelos por falta de precipitaciones en la parte baja de la cuenca, la activación de sus afluentes a causa del Fenómeno de Niño del 2017 fue lo que desencadenó toda esta catástrofe en la zona, por ello simularemos un evento extraordinario a un $Tr = 500$ años.

Se plantea un área de cuenca húmeda aproximada a partir de los 1500 m.s.n.m. hasta la cota más elevada de 4500 m.s.n.m., esto se encuentra respaldado y aplicado en el “Estudio de Riesgo de Desastres del Proyecto Sector 62” planteada por el Dr. Ing. Julio Martín Kuroiwa Zevallos y “Estudio Hidrológico y meteorológico en la Vertiente del Pacífico del Perú con fines de Evaluación y Pronóstico del Fenómeno El Niño para la Prevención y Mitigación de Desastres” que fue realizado por la Asociación BCEOM, además de diversos estudios realizados por la Asociación Nacional del Agua..

A continuación, presentamos los parámetros morfológicos empleados para los métodos de Creager y Mac Math, éstos son aplicables solo para la cuenca húmeda, la cuenca seca se descarta de los cálculos.

Tabla 13. *Parámetros geomorfológicos de la cuenca húmeda*

PARAMETROS MORFOLOGICOS DE LA CUENCA HÚMEDA		
Longitud del cauce principal	13.91	Km
Pendiente del cauce del rio	0.14	m/m
Diferencia de cotas	2090.69	m
Área de la cuenca húmeda	377.23	Km ²
Coefficiente de escorrentía	0.43	-

Fuente: Propia

3.2.5.1 Método Envolvente de Creager

Tabla 14. Caudales máximos – Método Envolvente de Creager

Cuenca	Área Húmeda (Km ²)	C1	C2	m	n	TR	C1+C2	Log(T)	(mA) ⁻ⁿ	Q (m ³ /s)
Chilca	377.234	0.090	0.360	1.240	0.040	10	0.450	1.000	0.782	46.568
Chilca	377.234	0.090	0.360	1.240	0.040	25	0.450	1.398	0.782	65.099
Chilca	377.234	0.090	0.360	1.240	0.040	50	0.450	1.699	0.782	79.117
Chilca	377.234	0.090	0.360	1.240	0.040	100	0.450	2.000	0.782	93.135
Chilca	377.234	0.090	0.360	1.240	0.040	500	0.450	2.699	0.782	125.685

Fuente: Propia

3.2.5.2 Método de Mac Math

Tabla 15. Tiempo de concentración en la cuenca húmeda

HALLANDO EL TIEMPO DE CONCENTRACIÓN EN HORAS		
MÉTODO DE SCS	MÉTODO DE TEMEZ	MÉTODO DE KIRPICH
$T_c = (0.871 \left(\frac{L^3}{H}\right))^{0.385}$	$T_c = 0.3(L/S_f^{0.25})^{0.75}$	$T_c = 0.06628(L^{0.77})(Sk^{-0.385})$
Tc = 1.0451	Tc = 2.0097	Tc = 1.0522
Tc_(prom) = 1.37		

Fuente: Propia

La intensidad de precipitación (mm/hr) y los caudales máximos se calcularán a partir del tiempo de retorno y el tiempo de concentración, ingresando estos datos al programa River de autoría del Ingeniero Emilse Benavides, avalado por el ANA y el MINAGRI, obtenemos los siguientes datos:

Tabla 16. *Caudales máximos en distintos periodos de retorno.*

Periodo de retorno (años)	Intensidad (mm/hr)	Coef. De escorrentía	Área (Ha)	Pendiente	Q (m3/s)
10	25.7569	0.43	37723	0.14	46
25	33.129	0.46	37723	0.14	64
50	40.0775	0.49	37723	0.14	82
100	48.4835	0.53	37723	0.14	107
500	75.4398	0.61	37723	0.14	192

Fuente: Propia

3.2.6 Simulación en el modelo Iber

Una vez obtenido todos resultados descritos línea arriba, definiendo los parámetros geomorfológicos, los caudales máximos y la topografía de la zona de estudio, procedemos a la simulación en el modelo numérico Iber para observar su comportamiento en la caracterización de la cuenca.

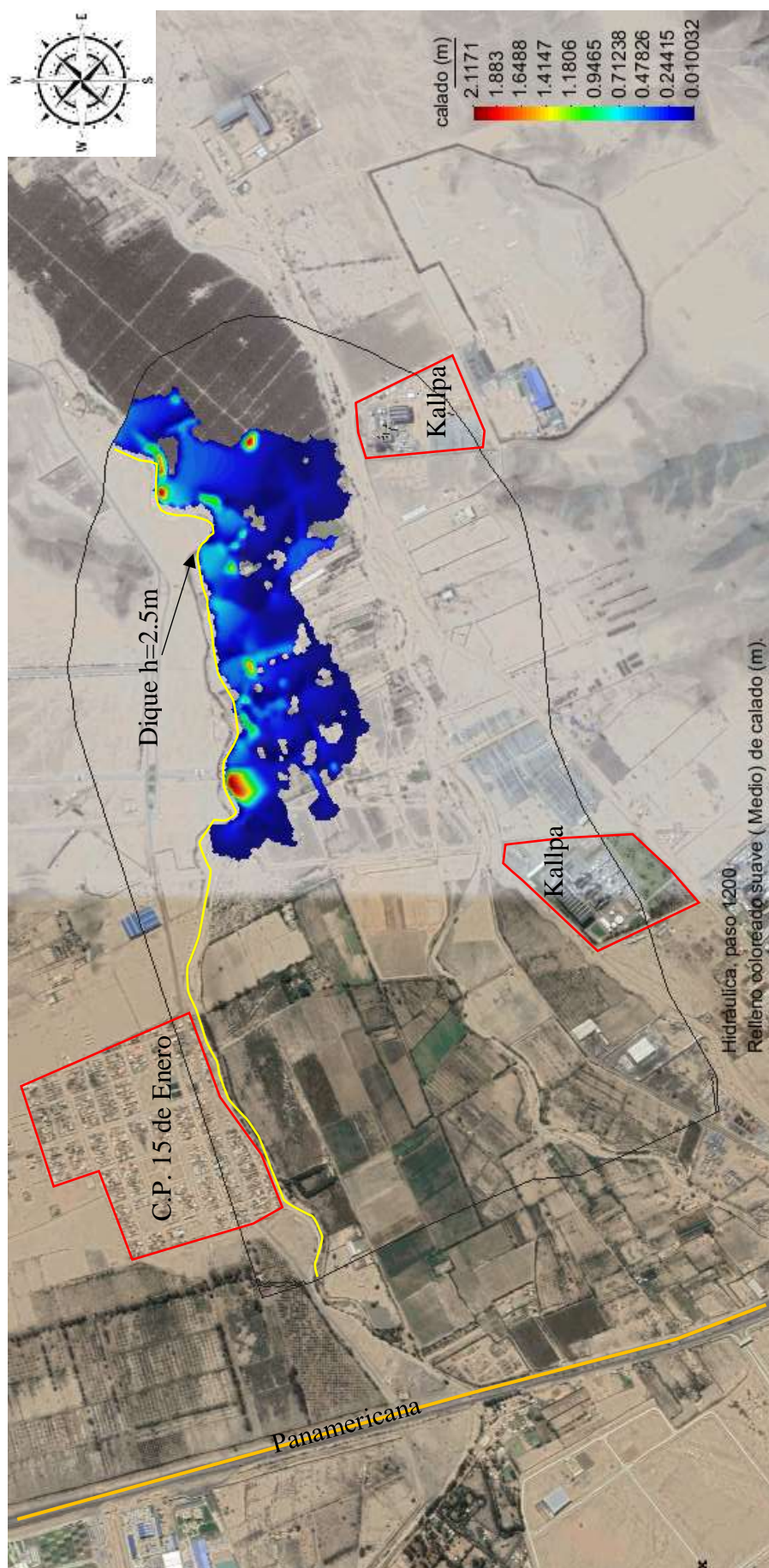


Figura 25. Tirantes del flujo a 1200 segundos, Caso: Dren Norte

(Fuente: Propia)

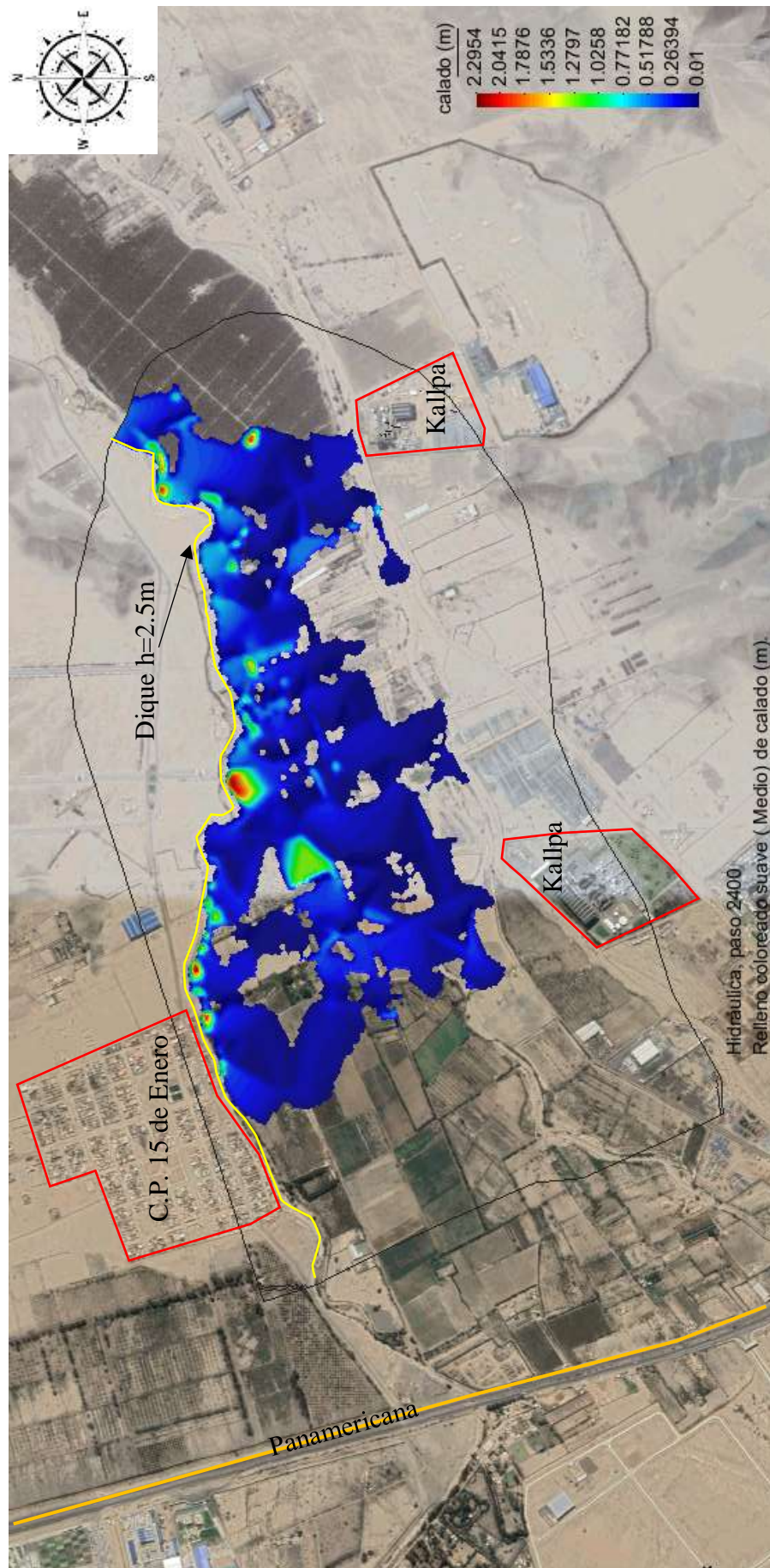


Figura 26. Tirantes del flujo a 2400 segundos, Caso: Dren Norte

(Fuente: Propia)

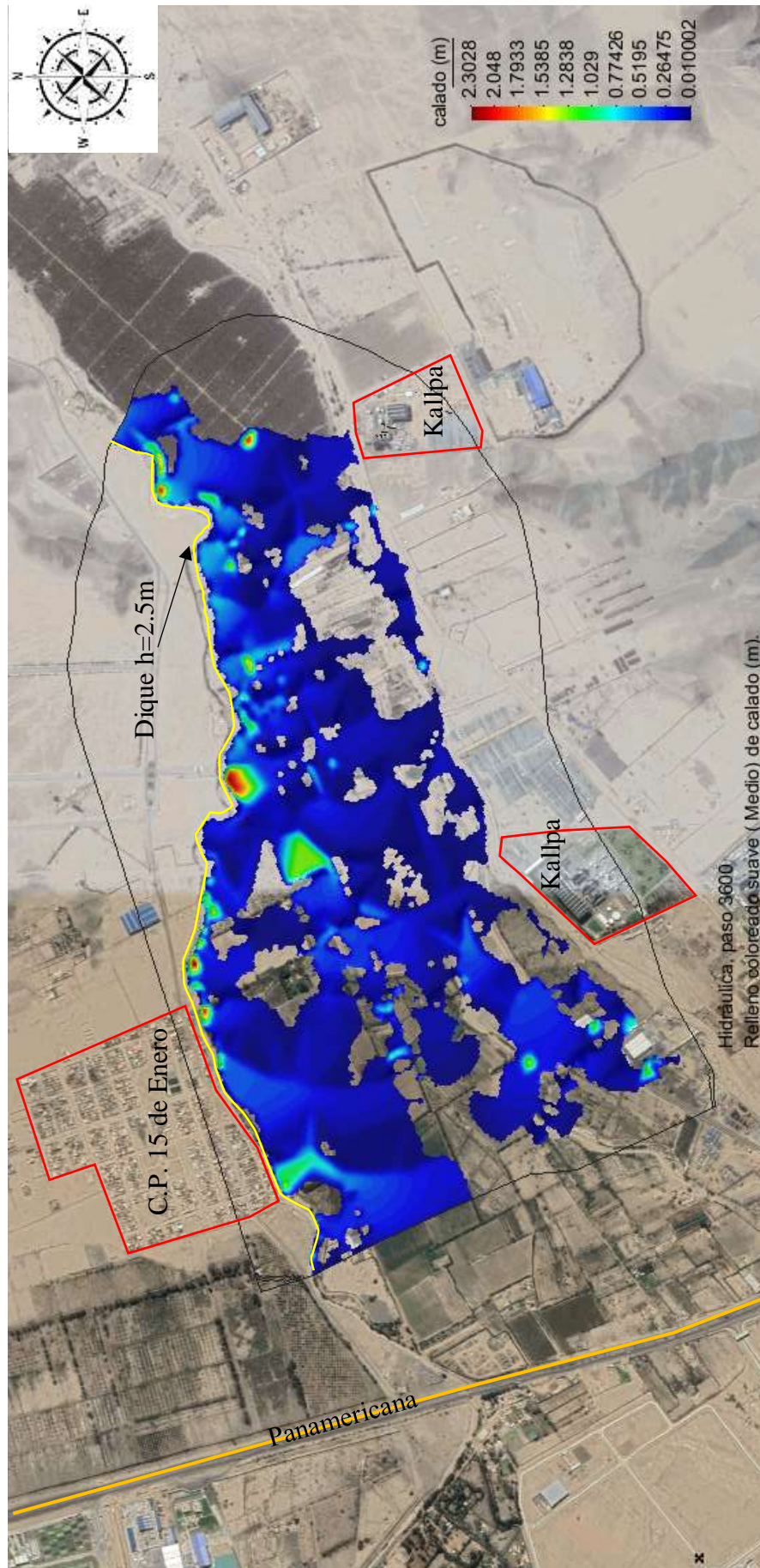


Figura 27. Tirantes del flujo a 3600 segundos, Caso: Dren Norte
(Fuente: Propia)

En las figuras 25,26 y 27 se observa que todo el flujo se deposita entre los cauces del Dren Norte y Dren Sur afectando gran parte de terrenos agrícolas; el C.P. 15 de Enero se salvaguarda ya que se encuentra en terreno alto, al igual que las dos estaciones de la termo eléctrica Kallpa.

Los tirantes máximos observados adquieren un valor de 2.3m, además esta altura no supera la del dique existente el cual es de 2.5m, poniendo a buen resguardo la zona Norte de este tramo.

3.3 Simulación del flujo de torrente para ubicar las áreas de erosión

3.3.1 Propiedades de los sedimentos

Para analizar el tipo de material erosionado se tuvo que analizar tres muestras de suelo del sedimento depositado en el último flujo de torrente acontecido en 2017, para así precisar la clase de sedimentos arrastrados por erosión hídrica de las laderas con mayor pendiente y material suelto aguas arriba. Podemos observar una mejor ubicación de la zona a analizar en el plano UCV-01, localizado en el **ANEXO 8**.



Figura 28. Ubicación de las muestras

(Fuente: Propia).

Estas muestras fueron llevadas a laboratorio para un ensayo de granulometría, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 17. *Resumen de ensayo granulométrico*

Muestra	%		Mayor % retenido en malla
M-1	% Grava	-	N°60
	% Arena	88.1	
	% Finos	11.9	
M-2	% Grava	0.7	N°60
	% Arena	92.7	
	% Finos	6.7	
M-3	% Grava	21.2	N°100
	% Arena	65.9	
	% Finos	12.9	

Fuente: Propia

Una vez obtenido estos resultados de los ensayos granulométricos podemos decir que la mayoría de partículas que han sido erosionadas poseen un diámetro promedio de 0.25 mm, lo cual indica que son cargas de lavado del lecho del río.



Figura 29. *Muestra M-1 en color rojo, parte baja de la Cuenca*

(Fuente: Propia).

En la muestra M-1 se visualiza una arena bien compactada con presencia de arcilla, color beige de unos 15cm de espesor aproximadamente, esta muestra fue tomada en la parte baja de la cuenca a unos 61 m.s.n.m.



Figura 30. *Muestra M-2 en color rojo, parte baja de la Cuenca*

(Fuente: Propia).

La muestra M-2 fue tomada en la parte baja de la cuenca a unos 65 m.s.n.m. se observa arena fina de color gris y en la parte superior un estrato de arena arcillosa, con vegetación implantada por terceros, ya que esta muestra fue tomada dentro de una propiedad privada, pero esta zona no fue alterada por maquinaria, encontrándose en su forma natural.



Figura 31. *Muestra M-3 en color rojo, en el cono de deyección*

(Fuente: Propia).

Esta muestra M-3 fue obtenida en la bifurcación del cauce principal a unos 130 m.s.n.m., en la parte superficial del terreno podemos apreciar los sedimentos arcillosos que atrajo el río, debajo encontramos arena gruesa, parecido al estrado mostrado en la muestra M-1.

3.3.2 Hidráulica de los flujos de lodos

Una vez obtenido el ensayo granulométrico, podemos decir que la composición de los flujos de escombros está compuesta por agua (efecto de las precipitaciones anómalas producto del Fenómeno del Niño), partículas de arcilla y grano de arena gruesa, productos del desprendimiento de laderas empinadas con material suelto.

Según la clasificación de Pierson y Costa (1987) se insertaría en un *flujo de corriente ordinario*, ya que estos flujos contienen arcillas y forman acumulaciones a causa de fuerzas electroquímicas que tienden a dar esfuerzos al fluido.

Según la clasificación de Meunier (1991), recae en un flujo que se puede estudiar dentro de la *hidráulica fluvial convencional*, ya que las fórmulas según este autor son válidas hasta pendientes de 7 a 10% del cauce principal, y el flujo debe ser estudiado como un fluido newtoniano.

Según la clasificación que plantea Costa (1988), se adaptaría a *una avenida de agua (wáter flood)* ya que la concentración de sedimentos no supera el 20% del volumen total de agua, formándose pequeñas islas en los lechos del río (lo cual se aprecia en campo) y posee un comportamiento de flujo newtoniano.

3.3.3 Caudal sólido

El caudal sólido estimado en el tramo de estudio varía de 0.005 a 0.0019 m³/s, (Anexo 5) lo cual se puede evidenciar en las fotos del último estrato, teniendo como espesor promedio 20 cm.

3.3.4 Simulación en el modelo Iber

Al obtener los resultados de los ensayos granulométricos se puede determinar que el material erosionado ha sido por cargas de lavado, es decir, material del propio cauce. Luego determinaremos las áreas de mayor erosión al simular el flujo, éstas serán determinadas por medio de la obtención de la velocidad del flujo a lo largo de todo su recorrido.

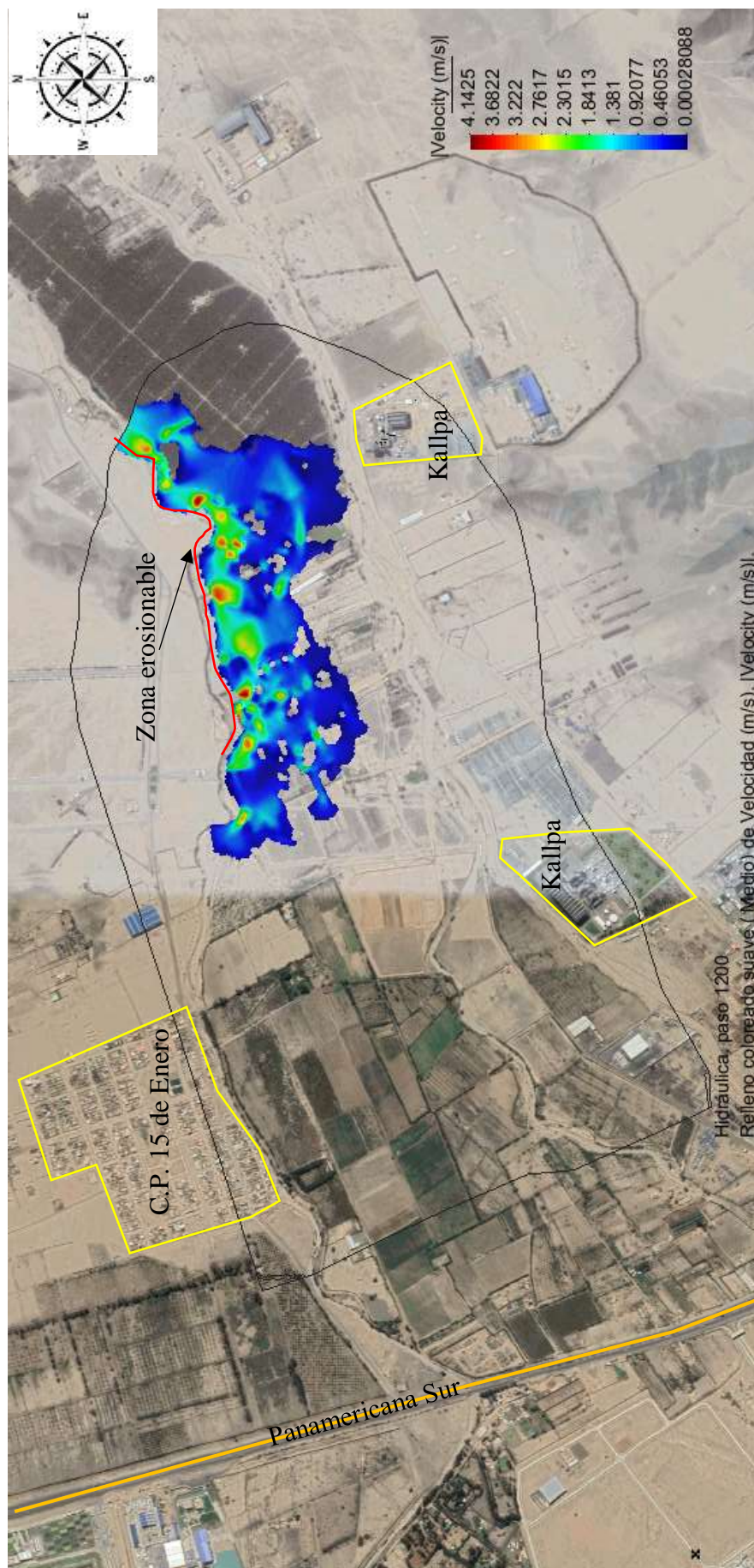


Figura 32. Velocidades del flujo a 1200 segundos, Caso: Dren Norte

(Fuente: Propia)

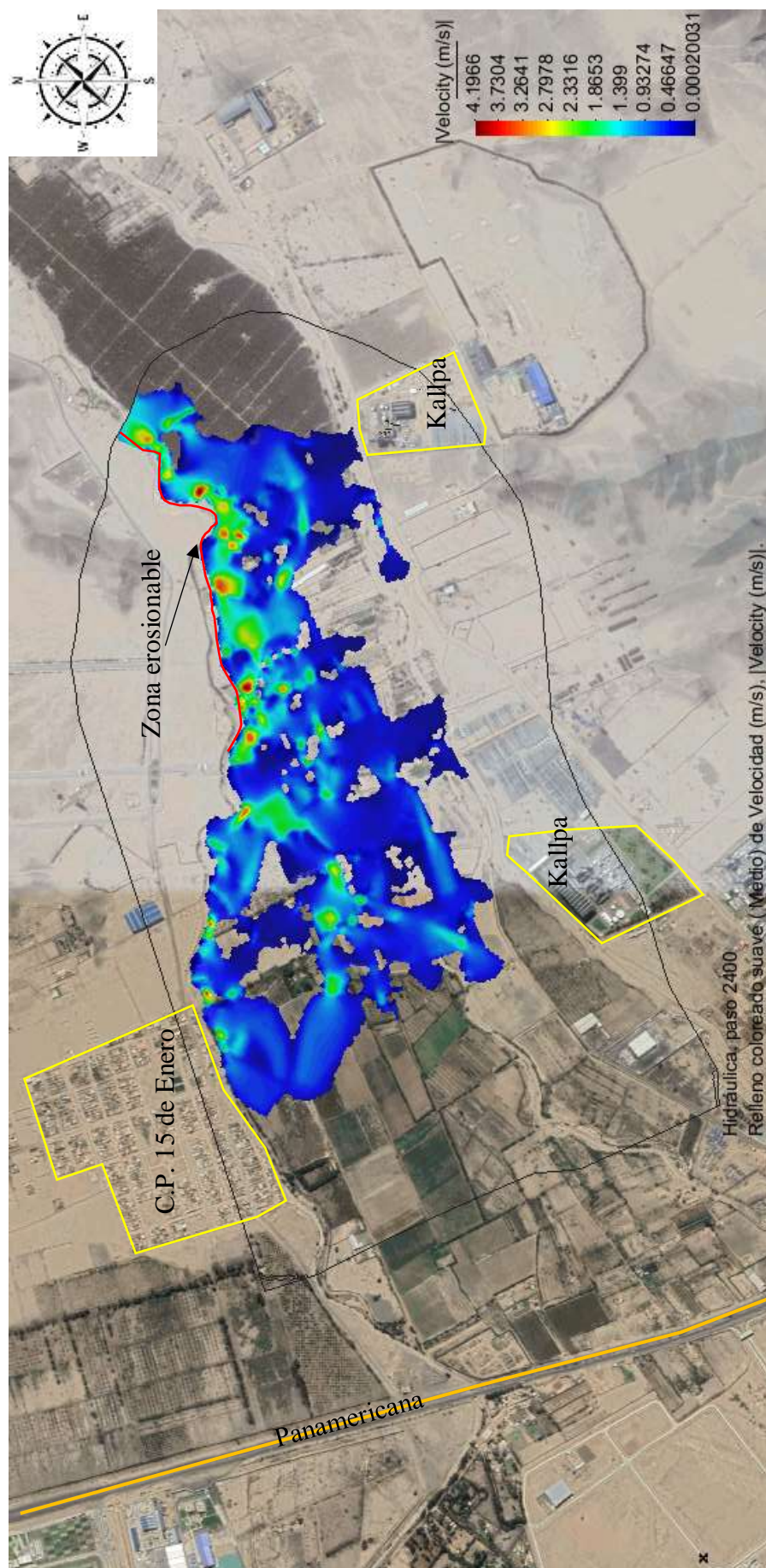


Figura 33. Velocidades del flujo a 2400 segundos, Caso: Dren Norte

(Fuente: Propia).

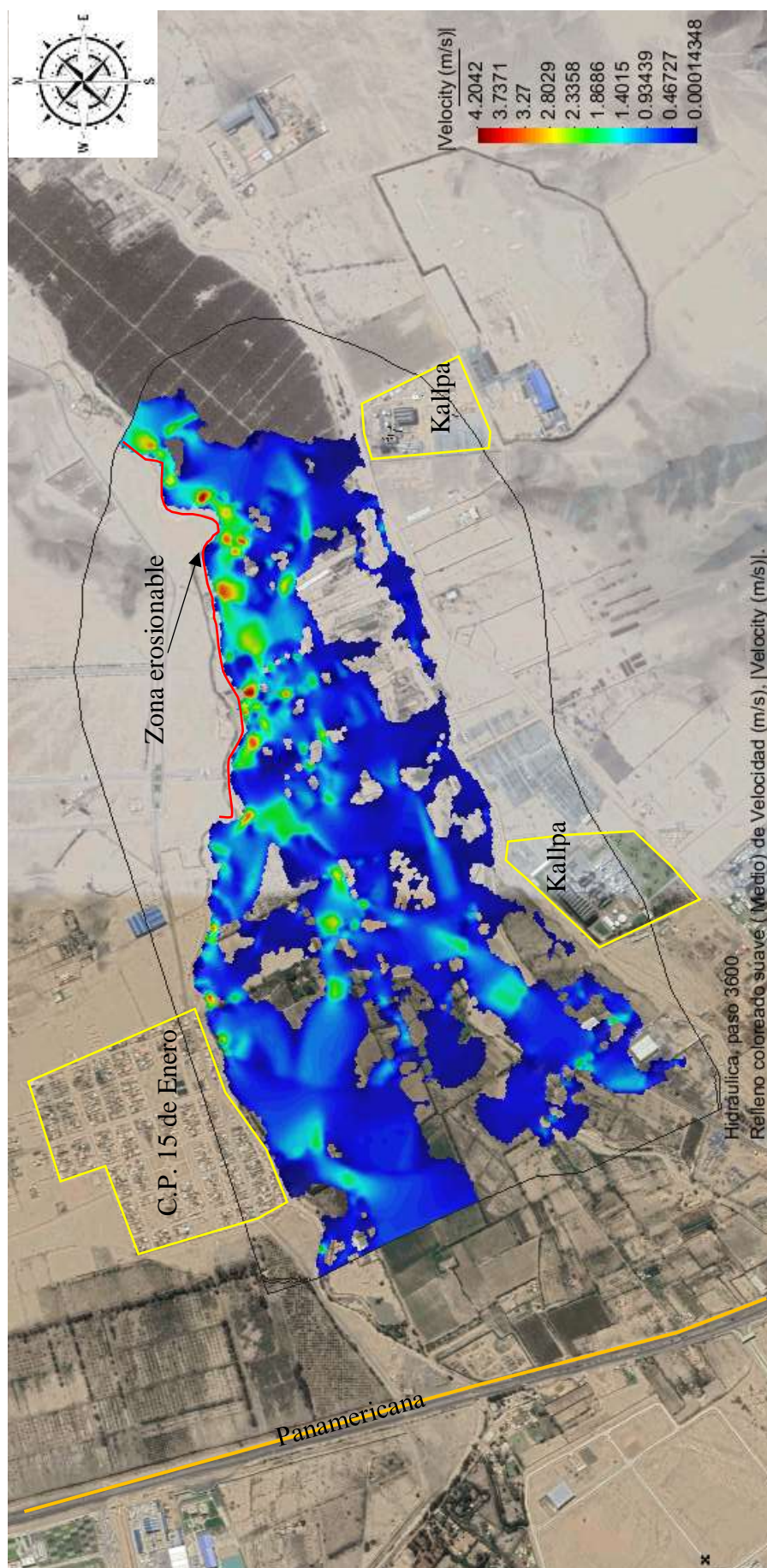


Figura 34. *Velocidades del flujo a 3600 segundos, Caso: Dren Norte*

(Fuente: Propia).

Se visualiza en la **figura 32, 33 y 34** un promedio de velocidad promedio del flujo de 2.5m/s aproximadamente en la zona meándrica en el extremo Este del Dren Norte, debido a la alta sinuosidad de este tramo. Entonces podemos determinar que la erosión se va localizar en esta zona señalada. Adicionalmente se deduce que el lado Este del dique existente está propenso a socavación por las altas velocidades determinadas.

3.4 Modelación del flujo de torrente para analizar su estado

Una vez obtenido la velocidad, la densidad del flujo será calculada por el modelo numérico Iber en una transpolación con los usos de suelo y las rugosidades de Manning.

3.4.1 Simulación en el modelo Iber

El software podrá calcular el número de Froude descrito por la inundación generada por el flujo de torrente y así señalar las áreas donde el flujo adopta un régimen sub-crítico, crítico o súper-crítico, adoptando un hidrograma de 0 a 3600 segundos, dando como resultado los siguientes mapas.

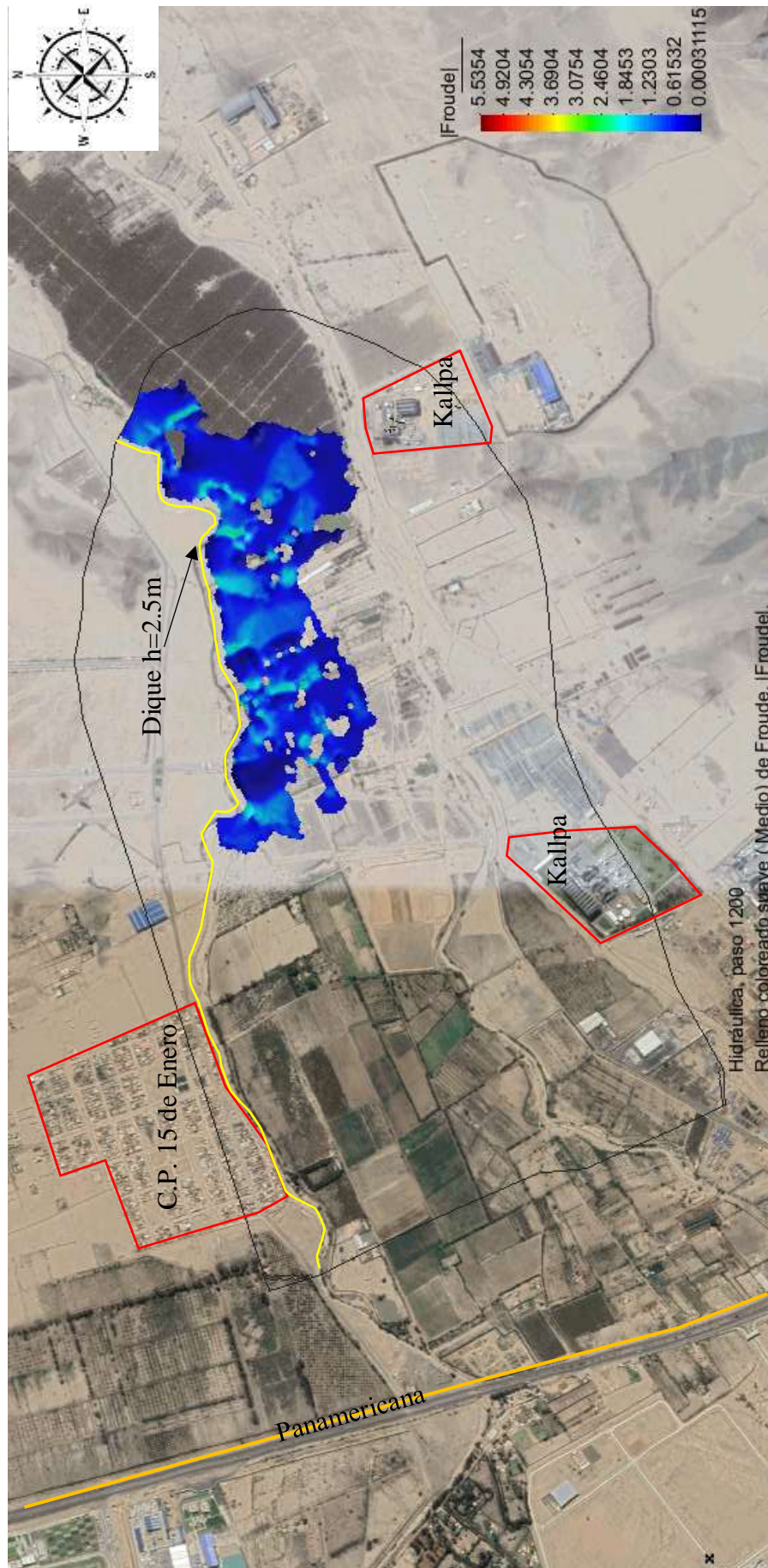


Figura 35. Número de Froude a 1200 segundos, Caso: Dren Norte

(Fuente: Propia)

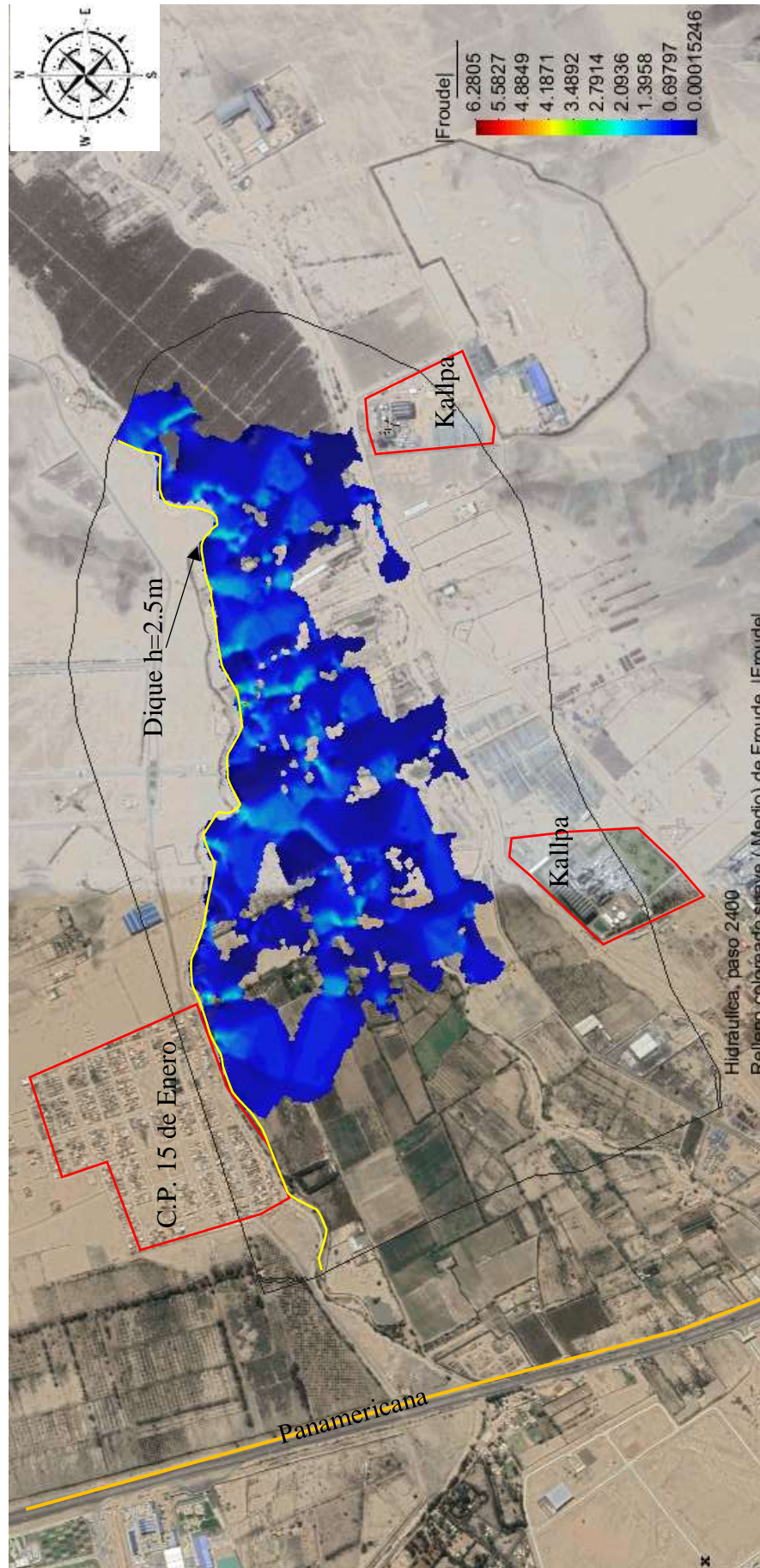


Figura 36. Número de Froude a 2400 segundos, Caso: Dren Norte

(Fuente: Propia)

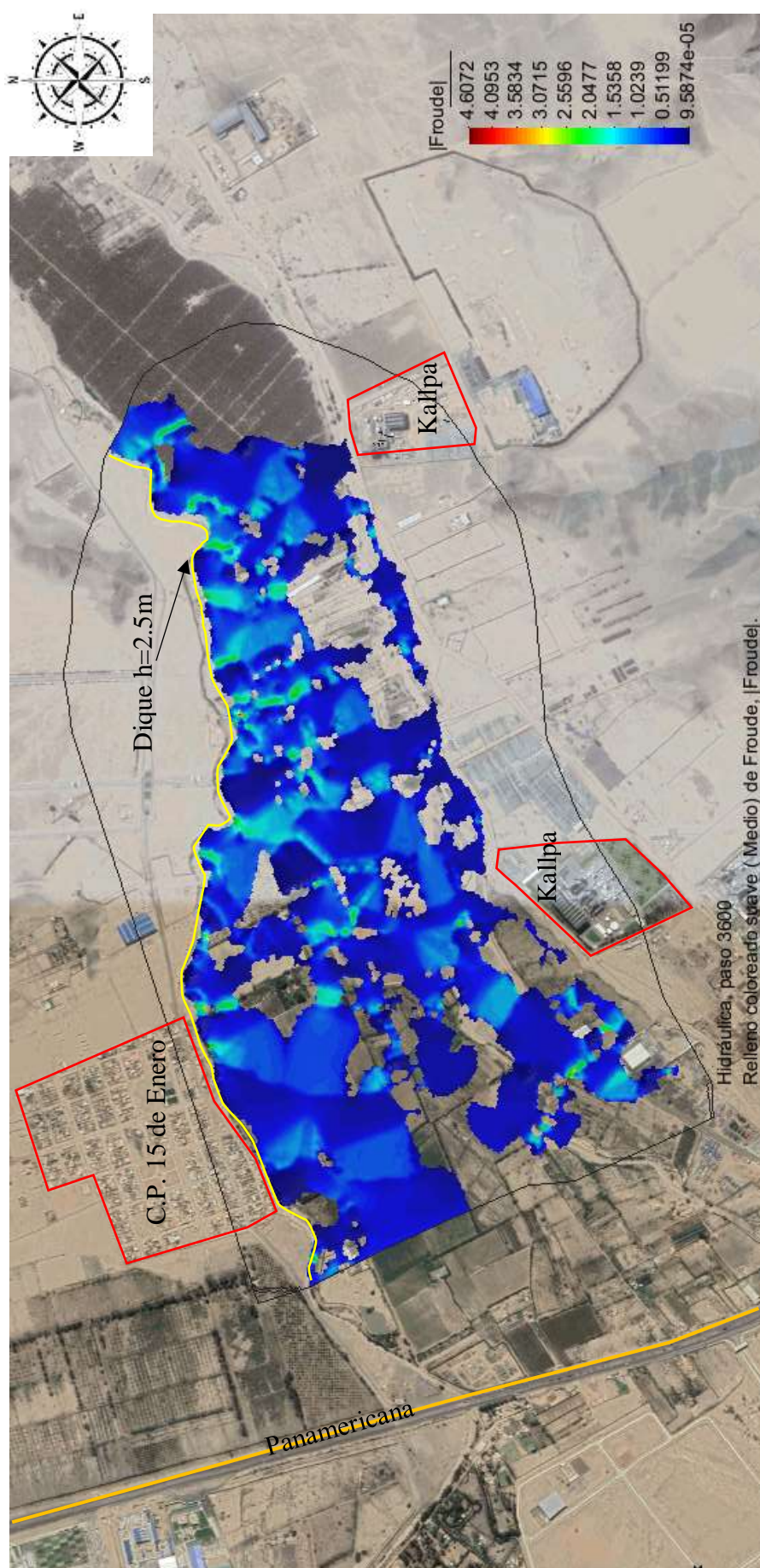


Figura 37. Número de Froude a 3600 segundos, Caso: Dren Norte

(Fuente: Propia)

Al observar las **figuras 35, 36 y 37**, se indica el análisis del número de Froude que adquiere el flujo de torrente en la inundación del caso Dren Norte, podemos observar que en su gran mayoría adopta un régimen crítico y sub-crítico, adquiriendo valores promedio entre 0.5 a 1.5.

3.5 Análisis del comportamiento de deposición generada por el flujo de torrente

Tras haber obtenido todos los datos mostrados líneas arriba correspondientes a una simulación bajo un evento meteorológico extremo equivalente a un periodo de retorno de 500 años con un caudal de 192 m³/s, simulando un hidrograma hasta los 3600 segundos, podemos determinar que los territorios agrícolas en la zona de bifurcación del cauce principal presentarían una vulnerabilidad altísima a sufrir todos los efectos de un evento meteorológico extremo, Además que la carretera Panamericana Sur tendría una vulnerabilidad baja a sufrir daño con el caudal mencionado. También podemos visualizar que tanto la central termo-eléctrica Kallpa como el Centro Poblado 15 de Enero (siendo las zonas a necesitar mayor recaudo por albergar mayor cantidad de vidas humanas) se encuentran a salvo ya que la inundación no alcanza estas zonas. Cabe resaltar que existe la presencia de un dique de 2.5m de altitud, al lado izquierdo aguas arriba del Dren Norte, este dique protege a todo el centro poblado ya que los tirantes alcanzados no exceden la altura del mismo, pero sí esta propenso a ser erosionado en el extremo Este.

3.5.1 Medidas de protección estructurales

En la zona de meandros al Este del Dren Norte, visualizando la zona con mayor velocidad del flujo, (**figura 34**) se propone enrocados en las márgenes erosionables del cauce, una medida de bajo costo y empleando los materiales de la zona.

Además, se propone la construcción de diques para la protección de estructuras como la central termo-eléctrica de Kallpa, sin dejar de lado, las torres de alta tensión que están en esta zona.

3.5.2 Medidas de protección no estructurales

Se propone la descolmatación (limpieza y ensanche) del cauce Dren Norte en casi todo su recorrido, teniendo indicios por medio de imágenes satelitales tomadas en distintas fechas, que el cauce el río se ha reducido en casi un 50% ya sea por factores de invasión por parte

de la población, acumulación de sedimentos a través de los años, arrojo de basura o desmonte, etc.

Ponemos como ejemplo la muestra visualizada en las **figuras 38 y 39** con coordenadas:

Este: 313274.50

Norte: 8618971.73

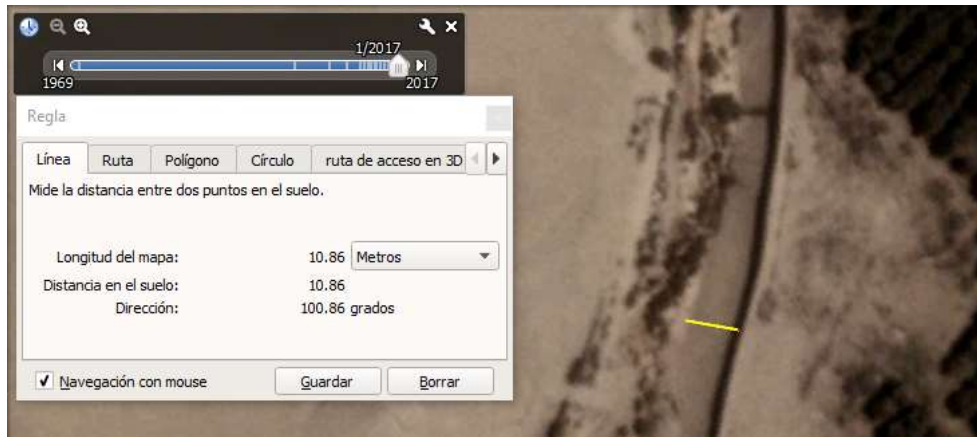


Figura 38. Ancho de cauce sin descolmatar - Dren Norte

(Fuente: Propia)

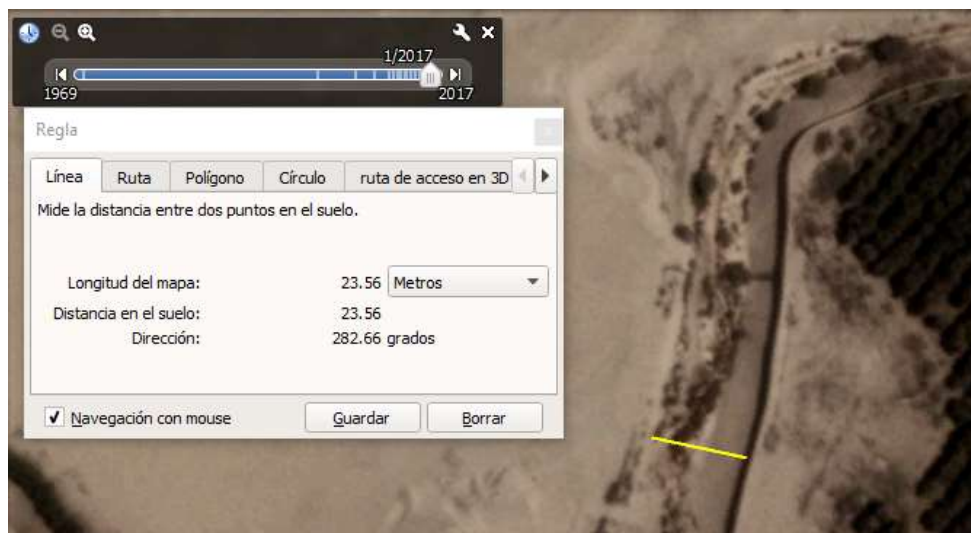


Figura 39. Ancho de cauce natural - Dren Norte

(Fuente: Propia)

Se visualiza que a través de los años el ancho del cauce se ha reducido a causa del arrastre de sedimentos debido a la erosión aguas arriba. La reducción de la sección transversal del cauce a través de los años ha sido uno de los detonantes de la última catástrofe ocurrida en Chilca ante un evento meteorológico extremo.

3.6 Contrastación de la hipótesis

3.6.1 El flujo de torrente para observar su comportamiento en la caracterización de la cuenca

H_a : Si determinamos el flujo de torrente se observará su comportamiento en la caracterización de la cuenca en la zona de descarga, Caso: Dren Norte – Chilca.

H_0 : Si determinamos el flujo de torrente no se observará su comportamiento en la caracterización de la cuenca en la zona de descarga, Caso: Dren Norte – Chilca.

La obtención de los resultados indica que se acepta la hipótesis alterna, por motivos que, al realizar una topografía a detalle de la zona del Dren Norte, podemos generar una superficie el cual reconoce el modelo computacional y al proporcionar los caudales máximos de 192 m³/s, el software simula el comportamiento del flujo, hemos podido obtener como resultado los tirantes, velocidades y números de Froude que adquiere el flujo, contribuyendo a la interpretación de su comportamiento en la cuenca de Chilca.

3.6.2 El flujo de torrente para ubicar áreas de erosión

H_a : Si simulamos el flujo de torrente se ubicarán las áreas de erosión en la zona de descarga, Caso: Dren Norte – Chilca.

H_0 : Si simulamos el flujo de torrente no se ubicarán las áreas de erosión en la zona de descarga, Caso: Dren Norte – Chilca.

Se afirma la hipótesis alterna, por motivos que detectamos las áreas de erosión en las zonas donde la velocidad del flujo es mayor alcanzando máximos de 2.5 m/s (**Figura 34**) y corroborando que el flujo posee un régimen crítico a sub-crítico en la zona mencionada, podemos visualizar los números de Froude alcanzados por el flujo en la **Figura 37**, los cuales oscilan entre 0.5 a 1.5.

3.6.3 El flujo de torrente para analizar el estado del flujo

H_a: Si modelamos el flujo de torrente se analizará el estado del flujo en la zona de descarga, Caso: Dren Norte – Chilca.

H₀: Si modelamos el flujo de torrente no se analizará el estado del flujo en la zona de descarga, Caso: Dren Norte – Chilca.

Analizando los resultados se verifica la hipótesis alterna, por razones que, al observar el modelo, se identifican los valores del número de Froude en las figuras 35, 36 y 37 a 1200, 2400 y 3600 segundos, interpretando que la mayoría del flujo de agua tiene un régimen crítico a sub-crítico adquiriendo valores promedio entre 0.5 a 1.5.

3.6.4 El flujo de torrente para predecir el mecanismo de deposición

H_a: El flujo de torrente generará deposiciones de alto impacto en la zona de descarga, Caso: Dren Norte - Chilca.

H₀: El flujo de torrente no generará deposiciones de alto impacto en la zona de descarga, Caso: Dren Norte - Chilca.

Según los resultados se acepta la hipótesis alterna y se niega la hipótesis nula, ya que, como se muestra en la **figura 27**, el flujo de lodos genera inundaciones de gran magnitud en la zona de bifurcación, movilizándose hacia el Dren Sur, sin afectar el Centro Poblado 15 de Enero ni la Termo-eléctrica Kallpa, pero afectando gran cantidad de zonas agrícolas las cuales están invadiendo el cauce natural del río, además que se ha reducido su sección transversal a tan solo 10m; la simulación fue establecida a un periodo de retorno de 500 años con un caudal de 192 m³/s.

IV. DISCUCIÓN

En seguida se discutirán los principales resultados, obtenidos mediante la recopilación de datos de campo, laboratorio y la simulación computacional.

Con respecto al objetivo específico 1: Concordamos con lo propuesto en la investigación planteada por Vilcahuamán (2015) en donde concluye que en diferentes zonas de la Costa del Perú pueden presentar flujos con distintos tipos de comportamiento y características, es decir, cada cuenca poseerá un comportamiento único ante inundaciones de flujos de torrente; además destaca que una de las causas por las cuales los riesgos ante flujos de lodos aumenta, es por la invasión del cauce natural del río por parte de los pobladores, ya que la escorrentía mínima es aprovechada en la agricultura sin el debido cuidado, lo cual ocurre en nuestro caso de estudio. También concordamos en que las medidas a adoptarse para la mejora y protección de los pobladores sería las obras estructurales y no estructurales, ya que el orden de los asentamientos humanos juega un rol importante en el control de riesgos de desastres.

Con respecto al objetivo específico 2: Según lo expuesto por Janampa (2016) donde expone que los eventos de flujos de lodos son causados principalmente por las intensas lluvias, lo que origina la activación de deslizamientos propensos a colapsar y producir flujos de lodos, estos flujos poseen un alto grado de erosión, generalmente en meandros o sectores del cauce con gran sinuosidad dependiendo de la velocidad que adquiere el flujo, afectando la seguridad física de las estructuras y viviendas. Concordando con el autor, hemos podido evaluar la erosión que genera el flujo analizando la velocidad del fluido en el tramo del Dren Norte, siendo las zonas con mayor sinuosidad las más erosionadas, esto se aprecia en la figura 36.

Con respecto al objetivo específico 3: Según lo planteado por Valdez (2015), donde una de sus conclusiones es que al sembrar árboles aumenta el tirante, se disminuye la velocidad del flujo y por ende el número de Froude baja, con lo cual el régimen de flujo se puede controlar. Concordando con este autor, observamos que la inundación se acentúa en zonas agrícolas, por lo que la rugosidad es mayor y su velocidad disminuye; el número de Froude no es muy alto, con lo cual no alcanza regímenes turbulentos.

Con respecto al objetivo general: De acuerdo a lo establecido en la tesis escrita por Janampa (2016) donde se destaca su procedimiento detallado al analizar los flujos aluvionales en el Centro Poblado de Quincemil mediante el modelo numérico Flo-2D. Concordamos que para analizar el comportamiento de la inundación a través de modelos

numéricos en dos dimensiones como son el Flo-2D y el modelo Iber, los datos de entrada y la metodología empleada son aproximadamente los mismos para poder modelar en ambos softwares estos datos fueron: análisis geológico y morfológico de la cuenca, caudales máximos, identificación del tipo de flujo descargado y reconocimiento de campo.

V. CONCLUSIONES

1. Ante la ocurrencia de un evento hidrometeorológico extremo de flujos de lodo, (el cual hemos determinado que presenta un **comportamiento** de flujo de agua ordinario) en la Cuenca Chilca se afectaría el área ubicada entre el Dren Norte y el Dren Sur (la zona de bifurcación), afectando a más del 70% de la agricultura en el área mencionada abarcando cerca a 2Km².
2. La dinámica de los flujos de lodos tendrían un comportamiento violento, alcanzando una velocidad promedio de 2.5 m/s y las zonas más **erosionadas** se destacan en la figura 36. Esta velocidad tendría un gran poder de socavación sobre las estructuras como lo ocurrido en la carretera de la Panamericana Sur, visualizándose en la figura 15.
3. Los flujos de lodo al depositarse mayormente en zonas agrícolas, adquieren mayor rugosidad, disminuyendo la velocidad del flujo y por ende el número de Froude disminuye, ocasionando un **régimen** Subcrítico y crítico en la mayoría de la inundación.
4. El flujo de lodo ante un evento extremo, analizado en la zona de descarga Dren Norte, afecta de forma masiva la zona de bifurcación, aproximadamente a 2 Km² de terreno agrícola y trata de continuar su trayectoria hacia del Dren Sur, además se puede observar que tanto las dos estaciones de la central termo-eléctrica Kallpa y el Centro Poblado 15 de Enero están ubicados en zonas donde la inundación no les afectaría, pero sí a sus torres de alta tensión ubicadas cercanas al cauce.
5. Adicionalmente, al alcance de esta investigación se propone emplear medidas de protección no estructurales como: la descolmatación del cauce natural del río a partir de la zona de bifurcación del cauce principal hacia aguas abajo con un ancho de 20 metros como mínimo (ya que este era el ancho natural), con ello se disminuirá la vulnerabilidad a inundación de la zona en estudio ya que la invasión rural en esta área crece de manera descontrolada.

VI. RECOMENDACIONES

A continuación, se expone algunas recomendaciones las cuales deberían ser tomadas en cuenta para futuras investigaciones en relación a estudios de inundaciones de flujos de torrente.

1. Recomendamos aplicar la simulación de flujos en modelos matemáticos de dos dimensiones solo si se tiene recursos computacionales elevados, ya que la cantidad de procesos de cálculo que realiza el computador es significativa. Además, se podría realizar un mallado de análisis más denso y generar mayores detalles en la superficie, con ello se podría tener una interpretación más profunda de la zona a simular, asemejándose aún más la simulación a la realidad.
2. Se recomienda la instalación de pluviómetros que detecten los umbrales de precipitación en cuencas que se estén activando a causa del Fenómeno de El Niño, para la obtención de una data histórica más precisa, luego poder implementar sistemas de alerta temprana para la prevención de riesgos de desastres ante flujos de torrente.
3. Se recomienda tener en cuenta que entidades del Estado Peruano debe incorporar estudios de deslizamientos e inundaciones como parte de un plan de gestión de riesgos ante desastres naturales a nivel nacional, de acuerdo con las necesidades y potencialidades existentes de las cuencas en el Perú.
4. Se recomienda la utilización del modelo computacional Iber para estudios de inundación de flujos de torrente con comportamiento newtoniano, por sus resultados óptimos y sencillez de su interfaz al modelar, además de ser un software libre y así disminuir costos.
5. Adicionalmente al alcance de esta investigación, se recomienda diseñar las medidas de protección planteadas para una propuesta más completa y aplicarla como una opción a la gestión de riesgos de desastres, con lo cual los pobladores de Cuenca chilca podrían implementar planes de evacuación en toda esta área.

VII. REFERENCIAS

1. AGUIRRE, Julián. 1983. Hidráulica de sedimentos. Venezuela : Centro Interamericano del Desarrollo Integral, 1983.

ISSN: 1316 7081

2. ANTEPARRA, Hugo. Ucayali: Carretera Federico Basadre colapsa por huaicos [en línea]. Diario El Comercio. 19 de enero de 2017. [Fecha de consulta: 12 de diciembre de 2012].

Disponible en: <https://elcomercio.pe/peru/ucayali/ucayali-carretera-federico-basadre-colapsa-huaicos-160040>

3. ANTÓN, Luis y ANDRÉS, Dulce. Física y Química 2" ESO. Madrid : Editex, 2016. 144pp.

ISBN: 978-84-9078-801-1.

4. ARIAS, Fidias. El proyecto de investigación. Introducción a la metodología Científica. Quinta. Caracas : Episteme, 2006. 102 pp.

ISBN: 980-07-8529-9.

5. BANDA, Miguel. Análisis Comparativo de un Modelo Hidrodinámico Unidimensional para Flujo Newtonianos y No-Newtonianos del Río Seco Zona Urbana Tacna. Tesis (Titulación en ingeniería civil). Tacna : Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, 2015. 45pp.

6. BASCUÑÁN, Sebastián. Relación entre la erosión producida por un flujo superficial en suelos finos y algunas propiedades de estos. Tesis (Titulación en ingeniería civil). Santiago de Chile : Universidad de Chile, 2010. 21pp

7. BEHAR, Rivero. Metodología de la investigación. [en línea] s.l. : Shalom, 2008. [11 de diciembre].

Disponible en: <https://yoprofesor.org/2016/03/23/metodologia-de-la-investigacion-por-behar-rivero-en-pdf/>

8. CAMPOS, Aranda. Procesos del ciclo hidrológico. 3ª ed. México: Editorial Universitaria Potosina, 1998. 102pp.

ISBN: 968-6194-44-4

9. CÁRDENAS, Ospina. Estudios y diseños de las obras de protección de orillas en la margen izquierda del Río Cauca en el sector Candelaria - La Unión - Toro. Tesis (Titulación en ingeniería civil). Cali : Universidad del Valle, 2012. 54pp.

10. CARDONA, Lux. Conceptos básicos de morfometría de Cuencas Hidrográficas. Tesis (Titulación en ingeniería civil). Guatemala : Universidad de San Carlos, 2016. 71pp.

11. CASTILLO, Leonardo. Modelamiento numérico bidimensional del flujo hiperconcentrado. Tesis (Maestría). Lima : UNALM, 2018. 14pp.

12. CASTILLO, Leonardo. Aplicación de un modelo numérico de flujos de escombros y lodo en una quebrada en el Perú. Tesis (Título en ingeniería civil). Lima : Universidad Nacional de Ingeniería, s.f. 3pp.

13. CHIROQUE, Cristhian. Caracterización geodinámica y modelamiento del deslizamiento-flujo Yanacolpa en el Distrito de Parobamba, Provincia de Pomabamba, Región Ancash. Tesis (Titulación en ingeniería geológica). Piura : Universidad Nacional de Piura, 2016. 44pp.

14. CHOW, Ven. Hidráulica de canales abiertos. Santafé: McGraw-Hill, 1994. 24pp.

ISBN: 958-600-228-4

15. CORRAL, Y. Procedimientos de Muestreo. 1era ed. Valencia : Universidad de Carabobo, 2014. 28pp.

16. COUSSOT, Philippe. 1997. Mudflow Rheology and Dynamics. 1ª ed. Rotterdam : International Association Rotterdam, 1997. 15pp.

17. CRUZ, Bartolo [et al.]. Análisis morfométrico de la cuenca hidrográfica del río Cuale, Jalisco, México. Investigación y Ciencia [en línea]. Enero-abril Aguascalientes : Universidad Autónoma de Aguascalientes, 2015, n°1. Fecha de consulta: 15 de noviembre de 2018.

Disponible en

http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/66784/Documento_completo____.pdf?sequence=1

18. DÍAZ, Carlos. Análisis de gran visión de las inundaciones en la cuenca alta del río Lerma: caso de la subcuenca del río Tejalpa, Estado de México, México [en línea]. Enero-Marzo México: Universidad Autónoma del Estado de México, 2001, n°1. Fecha de consulta 10 de abril de 2018.

19. FAO. ¿Por qué invertir en ordenación de las cuencas hidrográficas? [en línea]. 1ª ed. Roma: FAO, 2009, [fecha de consulta: 1 de diciembre de 2018].

Disponible en: <http://www.fao.org/sustainable-forest-management/toolbox/modules/watershed-management/basic-knowledge/es/>

ISBN: 978-92-5-305805-1.

20. GAMIÓN, Frank. Modelo de flujo de escombros y lodo aplicando Flo-2D, Caso Sub Cuenca del Río Shullcas. Tesis (Titulación en ingeniería civil). Huancayo : Universidad Nacional del Centro del Perú, 2014. 27pp.
21. GARCÍA, Abraham. Medidas estructurales y medidas no estructurales de defensa frente a inundaciones [en línea] EOI. 17 de noviembre de 2013 [fecha de consulta: 29 de noviembre de 2018]. Disponible en [file:///C:/Users/Cesar%20BC/Downloads/componente45441%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Cesar%20BC/Downloads/componente45441%20(1).pdf)
22. GARCÍA, Luis. Niño costero: a un año de las lluvias que asolaron el país [en línea]. Diario El Comercio. 17 de marzo de 2018. [Fecha de consulta 3 de diciembre de 2018]. Disponible en: <https://elcomercio.pe/peru/nino-costero-ano-lluvias-devastaron-pais-noticia-505265>
23. GARCÍA, Raúl. Análisis y evaluación del transporte de sedimentos en Cuencas Mediterráneas. Tesis (Maestría). Cartagena : Universidad Politécnica de Cartagena, 2015. 60pp.
24. GARCÍA, Rut. 2016. Alternativas para la estabilización de la Quebrada Cantuta II con fines de mitigación de huaycos. Tesis (titulación de ingeniería agrícola). Lima : Universidad Nacional Agraria La molina, 2016. 76 pp.
25. GUARÍN, Tatiana. 2014. Modelación del transporte de sedimentos en ríos. Ejemplos de aplicación por el método de diferencias finitas en Excel y Matlab. Tesis (Maestría). Bogotá : Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, 2014. 45 pp.
26. GUILLÉN, Oscar. 2017. Guía para Elaborar la Tesis Universitaria. Lima : Ando-Educando, 2017. 41 pp.
27. HERNANDEZ, Roberto [et al.]2010. Metodología de la Investigación. 2ª ed. México D.F : Mc Graw Hill, 2010.
28. HUANG, Wengui. Governing failure mode of unsaturated soil slopes under rainwater. Singapore : Nanyang Technological University, 2016.
29. JANAMPA, Jhon. Dinámica de flujos aluvionales en el centro poblado de Quincemil, subcuenca del río Arazá. Tesis (Titulación en mecánica de fluidos) Lima : UNMSM, 2016. 50 pp.
30. LOZADA, José. Investigacion Aplicada: Definicion, Propiedad Intelectual e Industria. 2014. Quito : Universidad Tecnológica Indoamérica, 2014. 12 pp.
31. MORENO, Ada. Corrección de cauces, muros longitudinales y corte de meandros. Tesis (titulación de ingeniería civil). Mérida : Universidad de Los Andes, 2013. 15 pp.
32. O'BRIAN Y JULIEN. Laboratory Analysis of Mudflow Properties. s.l. : Journal of Hydraulic Engineering, 1988.

33. OCHOA, Santiago. Evaluación de modelos hidrodinámicos para representar flujos en cauces naturales - Aplicación en un tramo del Río Suquía - Córdoba. Tesis (Maestría) Córdoba : Universidad Nacional de Córdoba, 2014. 40pp.
34. ORTEGA, Andreina, DOS RAMOS, Diana. Compendio de los criterios de diseño de las presas de retención de sedimentos propuestas en Vargas por los hechos de Diciembre de 1999. Tesis (Titulación en ingeniería civil). Caracas : Universidad Católica Andrés Bello, 2016. 20 pp.
35. PIMIENTA, Rodrigo. Encuestas probabilísticas vs. no probabilísticas. [En línea] 2000. [Citado el: 22 de Noviembre de 2016.] <http://www.redalyc.org/comocitar.oa?id=26701313>.
ISSN: 0188-7742.
36. Procesos de transporte de sedimentos. [en línea] México : 19 de diciembre de 2014. [Fecha de consulta: 1 de diciembre]. Disponible en:
<https://www.gob.mx/imta/articulos/procesos-de-transporte-de-sedimentos>
37. QUINCHO, Janet. Estudio experimental del transporte de sedimentos en suspensión y fondo y comparación con fórmulas empíricas en los ríos Puyango-Tumbes y Zarumilla. Tesis (titulación para ingeniería agrícola). Lima : Universidad Nacional Agraria, 2015. 40 pp.
38. SALDAÑA, Jesús. Medidas del transporte de sedimentos en ríos. Tesis (Titulación en ingeniería civil). Lima : Universidad San Martín, 2018. 17 pp.
39. SEMARNAT. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. [En línea] [Citado el: 20 de Junio de 2018.] <https://www.imta.gob.mx/procesos-de-transporte-de-sedimentos>.
40. SEPULVEDA, Amanda. Metodología para la evaluación de riesgo por flujo de detritos detonados por lluvia: Caso Útica, Cundinamarca, Colombia. Tesis (Titulación en ingeniería civil) Cundinamarca : Pontificia Universidad Javeriana, 2016. 23 pp.
41. TAKAHASHI, Tamotsu. Debris flow. Róterdam : International Association for Hydraulic Research, 1994. 52 pp.
42. VALDERRAMA, Santiago. Pasos para elaborar proyectos de investigación científica. Lima : San Marcos, 2013. 79 pp.
43. VALDEZ, Olbia. Modelación y análisis bidimensional del cauce de alivio Los Zapotes Don Julián bajo diferentes escenarios de vegetación. México D.F. : Universidad Nacional Autónoma de México, 2015.
44. VILCAHUAMÁN, Iván. Concepto de medidas de prevención para reducir el riesgo de desastre por huaicos en Ica. Tesis (Titulación en ingeniería civil) Lima : Pontificia Universidad Católica del Perú, 2015.

VIII. ANEXOS

ANEXO 1

MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN

TÍTULO: PREDICCIÓN DEL MECANISMO DE DEPOSICIÓN DEL FLUJO DE TORRENTE EN LA ZONA DE DESCARGA, CASO: DREN NORTE - CHILCA

RESPONSABLE: BUSTAMANTE CHANGA CÉSAR MARTÍN

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores
V _d : Mecanismo de deposición	El Instituto Mexicano de Tecnología del Agua menciona lo siguiente: se originan con el inicio de movimiento de los sedimentos, la entrada en suspensión, el arrastre de fondo, la deposición de partículas, su compactación y consolidación, crea continuamente los paisajes y modifica la forma de los ríos, a través del tiempo.	Se elaborará una investigación que esté relacionadas con las dimensiones: proceso de erosión, transporte de sedimentos y modelo numérico de aproximación.	Caracterización de la cuenca	Clasificación de cuencas
				Elementos de las cuencas
				Parámetros geomorfológicos
			Proceso de erosión	Propiedades de los sedimentos
				Inicio del movimiento de sedimentos
			Estado del flujo	Velocidad
				Densidad
				Tipo de régimen
V _i : Flujo de torrente	Saldaña (2018) define al flujo de torrente como: una afluencia repentina y violenta de una corriente de agua que solo se forma por abundantes precipitaciones o en época de deshielo y que no suele mantenerse mucho tiempo.	Según Hampton (1972), “Los flujos de escombros es el resultado de alguna forma de colapso en el talud. Los escombros que caen como un deslizamiento colectan humedad y se mueven a lo largo de la pendiente, éste se licua o se dilata conforme avanza, aumentando la movilidad del fluido”	Hidráulica de los flujos de lodos	Tipos de fluidos
				Composición de los flujos
				Clasificación de los flujos
				Propiedades de los flujos
			Caudal líquido	Transformación lluvia-escurrimiento
				Modelos lluvia-escurrimiento
			Medidas de protección	Peligros
				Medidas estructurales
				Medidas no estructurales

MATRIZ DE CONSISTENCIA

TÍTULO: PREDICCIÓN DEL MECANISMO DE DEPOSICIÓN DEL FLUJO DE TORRENTE EN LA ZONA DE DESCARGA, CASO: DREN NORTE - CHILCA
RESPONSABLE: BUSTAMANTE CHANGA CÉSAR MARTÍN

MATRIZ RELACIONAL						OPERACIONALIZACIÓN		
FORMULACIÓN DE PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	Vd: Inundación		
GENERAL	GENERAL	GENERAL	VARIABLE 1	Según Díaz (2014), las inundaciones inesperadas y de gran intensidad, crean un riesgo natural reiterado, siendo generalmente, muy costosas en ámbitos económicos, y en ciertos casos, de pérdidas de vidas humanas. El predecir y estimar el impacto relacionado con esta clase de eventos es crucial para establecer medidas de control y así, minimizar sus efectos.	Se elaborará una investigación que esté relacionadas con las dimensiones: proceso de erosión, transporte de sedimentos y caracterización de la cuenca	DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODO
¿Cómo reproducimos el flujo de torrente para predecir el mecanismo de deposición en la zona de descarga, Caso: Dren Norte - Chilca?	Reproducir el flujo de torrente para predecir el mecanismo de deposición en la zona de descarga, Caso: Dren Norte - Chilca	Si reproducimos los flujos de torrente predecimos el mecanismo de deposición en la zona de descarga, Caso: Dren Norte - Chilca.	Mecanismo de deposición			Caracterización de la cuenca	- Clasificación de cuencas - Elementos - Parámetros geomorfológicos	- Tipo de Investigación según: Orientación: básica, Contrastación: explicativa, Direccionalidad: prospectiva, Fuente de recolección: prolectiva, Evolución del fenómeno: longitudinal, Comparación de población: descriptivo
						Proceso de erosión	- Propiedades de los sedimentos - Inicio del movimiento de sedimentos	
						Estado del flujo	- Velocidad - Densidad - Tipos de régimen	- Nivel de Investigación: Explicativa - Diseño de Investigación: No-Experimental

MATRIZ DE CONSISTENCIA

TÍTULO:

PREDICCIÓN DEL MECANISMO DE DEPOSICIÓN DEL FLUJO DE TORRENTE EN LA ZONA DE DESCARGA, CASO: DREN NORTE - CHILCA

RESPONSABLE:

BUSTAMANTE CHANGA CÉSAR MARTÍN

MATRIZ RELACIONAL						OPERACIONALIZACIÓN			
FORMULACIÓN DE PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	REDES DE DISTRIBUCIÓN			
ESPECIFICOS	ESPECIFICOS	ESPECÍFICAS	VARIABLE 2	(Saldaña, 2018) Se define como: una afluencia repentina y violenta de una corriente de agua que solo se forma por abundantes precipitaciones o en época de deshielo y que no suele mantenerse mucho tiempo.	Se elaborará una investigación que esté relacionada con las dimensiones: caracterización de la cuenca, área de drenaje, clima, hidrología y flujo de escombros.	Vi: Flujo de torrente			
¿De qué manera determinamos el flujo de torrente para observar su comportamiento en la caracterización de la cuenca en la zona de descarga, Caso: Dren Norte - Chilca?	Determinar el flujo de torrente para observar su comportamiento en la caracterización de la cuenca en zona de descarga, Caso: Dren Norte - Chilca.	Si determinamos el flujo de torrente se observará su comportamiento en la caracterización de la cuenca en la zona de descarga, Caso: Dren Norte – Chilca.	Flujo de torrente			DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODO	
						Hidráulica de los flujos de lodo	- Tipos de fluidos -Composición de los flujos - Clasificación de los flujos - Propiedades de los flujos	- Tipo de Investigación según: Su orientación: básica Su técnica: explicativa	
							Caudal líquido	- Transformación lluvia-escurrimiento - Modelos de lluvia-escucrrimiento	Su direccionalidad: prospectiva Su tipo de fuente de recolección: prolectiva Su evolución del fenómeno: longitudinal
								Medidas de protección	- Peligros - Medidas estructurales - Medidas no estructurales
¿Qué efectos tiene el flujo de torrente sobre las áreas de erosión en la zona de descarga, Caso: Dren Norte - Chilca?	Simular el flujo de torrente para ubicar las áreas de erosión en la zona de descarga, Caso: Dren Norte - Chilca.	Si simulamos el flujo de torrente se ubicarán las áreas de erosión en la zona de descarga, Caso: Dren Norte – Chilca.							
¿Cómo afecta el flujo de torrente según su estado en la zona de descarga, Caso: Dren Norte - Chilca?	Modelar el flujo de torrente para analizar su estado en la zona de descarga, Caso: Dren Norte - Chilca.	Si modelamos el flujo de torrente se analizará el estado del flujo en la zona de descarga, Caso: Dren Norte – Chilca.							

ANEXO 2

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

PROYECTO: "PREDICCIÓN DEL MECANISMO DE DEPOSICIÓN DEL FLUJO DE TORRENTE EN LA ZONA DE DESCARGA, CASO: DREN NORTE - CHILCA"

AUTOR: BUSTAMANTE CHANGA, CÉSAR MARTÍN

INFORMACIÓN GENERAL

UBICACIÓN:

Distrito: Chilca
Provincia: Cañete
Ciudad: Lima

Vd: Mecanismo de deposición

1. Caracterización de la cuenca

1.1 Clasificación de la cuenca:

En función a su sistema de drenaje

Endorreicas

~~Exorreicas~~

Arreicas

En función a su tamaño

Sistema
hidrográfico

~~Cuenca~~

Sub-cuenca

Micro-cuenca

1.2 Elementos de la cuenca

☐ Extraídos de la topografía convencional

☒ Extraídos de la topografía mediante Sistemas de información geográfica

1.3 Parámetros geomorfológicos

☒ Extraídos de la topografía convencional

☒ Extraídos de la topografía mediante Sistemas de información geográfica

2. Proceso de erosión

2.1 Inicio del movimiento de los sedimentos

Estudiamos al erosión mediante

~~Velocidad~~

Viento

Tensiones en el
fondo

3. Estado del flujo

3.1 Velocidad

Método de
flotadores

~~Software~~

3.2 Densidad

☒ Densidad del agua

☐ Densidad de un lodo viscoso

Vi: Flujo de torrente

4. Hidráulica de los flujos de lodos

4.1 Tipos de fluidos :

☒ Newtonianos

☐ No Newtonianos

4.2 Clasificación:

☒ Flujos de corriente ordinario

☐ Flujos Hiperconcentrados

☐ Flujos granulares

4.3 Propiedades de los flujos de lodos:

Pendiente (S):

☐ Pendiente alta

☐ Pendiente media

☐ Pendiente baja

☒ Pendiente media alta

☐ Pendiente media baja

Velocidad (V):

☐ Velocidad alta

☒ Velocidad media

☐ Velocidad baja

5. Hidrología aplicada

5.1 Transformación lluvia escurrimiento

Cuenca húmeda a partir de m.s.n.m.

5.2 Modelos de lluvia-escurrimiento

☐ Metodos estadísticos

☒ Métodos empíricos

6. Modelo computacional

6.1 Modelo a emplear

☒ IBER

☐ HEC-RAS

☐ I-RIC

☐ FLO-2D

☐ DBF-1D

6.2 Ecuaciones hidrodinámicas

☐ Ecu.
Continuidad

☒ Ecu.
Bidimensionales

☐ Ecu.
Tridimensionales

7. Medidas de protección

7.1 Peligros

Inundaciones

Deslizamientos

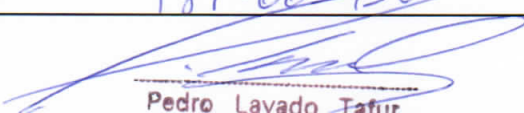
Flujos

7.2 Obras de protección

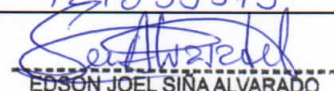
Obras
estructurales

Obras no
estructurales

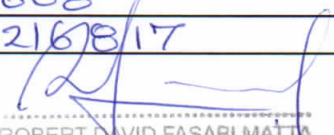
JUICIO DE EXPERTOS

NOMBRES	PEDRO LAVADO TAFUR
DNI	18074177
E-MAIL	plavado+@gmail.com
REGISTRO CIP	70855
TELÉFONO	981-665950
FIRMA Y SELLO:	 Pedro Lavado Tatur ING. CIVIL R. CIP, 70855

JUICIO DE EXPERTOS

NOMBRES	Edson Joel Sina Alvarado
DNI	45860617
E-MAIL	sina.ej@pucp.pe
REGISTRO CIP	189175
TELÉFONO	929835573
FIRMA Y SELLO:	 EDSON JOEL SINA ALVARADO INGENIERO CIVIL Reg. CIP N° 189175

JUICIO DE EXPERTOS

NOMBRES	Robert David Fasabi Matta
DNI	10193713
E-MAIL	robert.fasabi@gmail.com
REGISTRO CIP	100608
TELÉFONO	9402167817
FIRMA Y SELLO:	 ROBERT DAVID FASABI MATTA INGENIERO CIVIL Reg. CIP N° 100608



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS**PROYECTO:** "PREDICCIÓN DEL MECANISMO DE DEPOSICIÓN DEL FLUJO DE TORRENTE EN LA ZONA DE DESCARGA, CASO: DREN NORTE - CHILCA"**AUTOR:** BUSTAMANTE CHANGA, CÉSAR MARTÍN**INFORMACIÓN GENERAL****UBICACIÓN:**

Distrito: Chilca
Provincia: Cañete
Ciudad: Lima

N° DE REGUNTA	PUNTAJE 1	PUNTAJE 2	PUNTAJE 3
Pregunta 1	0.13	0.14	0.14
Pregunta 2	0.14	0.13	0.14
Pregunta 3	0.14	0.14	0.13
Pregunta 4	0.14	0.13	0.13
Pregunta 5	0.13	0.13	0.14
Pregunta 6	0.14	0.14	0.14
Pregunta 7	0.14	0.14	0.13
Σ	0.96	0.95	0.95

ANEXO 3



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Civil

Laboratorio N°2 - Mecánica de Suelos

N° 000344

INFORME N° S18 - 824-1

SOLICITANTE : CÉSAR MARTÍN BUSTAMANTE CHANGA
PROYECTO : PREDICCIÓN DEL MECANISMO DE DEPOSICIÓN DEL FLUJO DE TORRENTE
EN LA ZONA DE DESCARGA, CASO: DREN NORTE - CHILCA
UBICACIÓN : CUENCA CHILCA - PARTE BAJA
FECHA : 12 DE OCTUBRE 2018

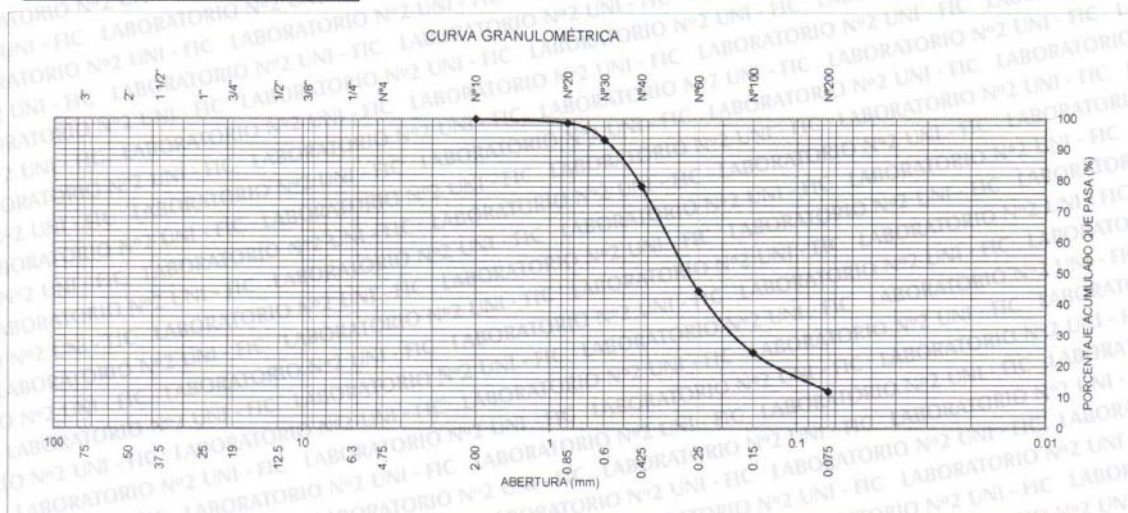
REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Muestra : M-1
Prof. (m.) : 0.00 - 0.25

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO - ASTM D422

Tamiz	Abertura (mm)	Parcial Retenido	Acumulado	
			Retenido	Pasa
3"	75.000	-	-	-
2"	50.000	-	-	-
1 1/2"	37.500	-	-	-
1"	25.000	-	-	-
3/4"	19.000	-	-	-
1/2"	12.500	-	-	-
3/8"	9.500	-	-	-
1/4"	6.300	-	-	-
N°4	4.750	-	-	-
N°10	2.000	-	-	100.0
N°20	0.850	1.3	1.3	98.7
N°30	0.600	5.4	6.7	93.3
N°40	0.425	15.0	21.7	78.3
N°60	0.250	33.9	55.6	44.4
N°100	0.150	19.9	75.6	24.4
N°200	0.075	12.5	88.1	11.9
FONDO		11.9		

% Grava	----
% Arena	88.1
% Finos	11.9



Nota: La muestra fue remitida e identificada por el Solicitante.

Ejecutado por: Téc. R. Quiroz S.

Revisado por: Ing. D. Basurto R. / B.R.P.



Msc. Ing. LUISA E. SHUAN LUCAS
Jefa (e) Laboratorio N°2-Mecánica de Suelos
Facultad de Ingeniería Civil - UNI

Carrera de Ingeniería Civil Acreditada por



Engineering
Technology
Accreditation
Commission

Av. Túpac Amaru 210, Lima 25 - Perú

Teléfono: (511) 381-3842

e-mail: lms.servicios@uni.edu.pe, lms_fic@uni.edu.pe, www.lms.uni.edu.pe



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Civil

Laboratorio N°2 - Mecánica de Suelos

N° 000345

INFORME N° S18 - 824-2

SOLICITANTE : CÉSAR MARTÍN BUSTAMANTE CHANGA
PROYECTO : PREDICCIÓN DEL MECANISMO DE DEPOSICIÓN DEL FLUJO DE TORRENTE
EN LA ZONA DE DESCARGA, CASO: DREN NORTE - CHILCA
UBICACIÓN : CUENCA CHILCA - PARTE BAJA
FECHA : 12 DE OCTUBRE 2018

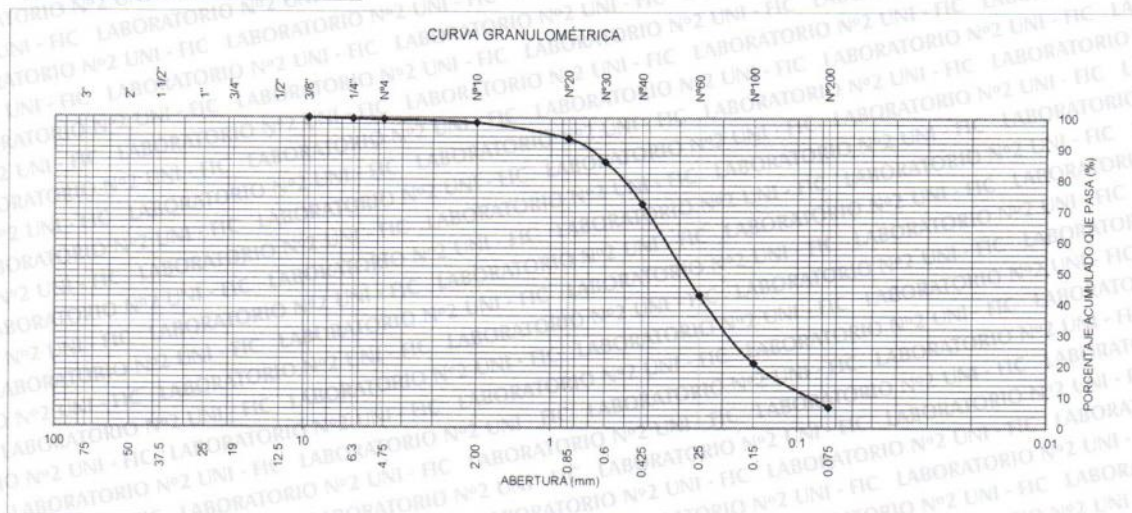
REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Muestra : M-2
Prof. (m.) : 0.00 - 0.25

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO - ASTM D422

Tamiz	Abertura (mm)	Parcial Retenido (%)	Acumulado (%)	
			Retenido	Pasa
3"	75.000	-	-	-
2"	50.000	-	-	-
1 1/2"	37.500	-	-	-
1"	25.000	-	-	-
3/4"	19.000	-	-	-
1/2"	12.500	-	-	-
3/8"	9.500	-	-	100.0
1/4"	6.300	0.4	0.4	99.6
N°4	4.750	0.2	0.7	99.3
N°10	2.000	1.0	1.6	98.4
N°20	0.850	5.0	6.7	93.3
N°30	0.600	7.6	14.2	85.8
N°40	0.425	13.5	27.7	72.3
N°60	0.250	29.5	57.2	42.8
N°100	0.150	22.1	79.2	20.8
N°200	0.075	14.1	93.3	6.7
FONDO		6.7		

% Grava	0.7
% Arena	92.7
% Finos	6.7



Nota: La muestra fue remitida e identificada por el Solicitante.

Ejecutado por: Téc. R. Quiroz S.

Revisado por: Ing. D. Basurto R. / B.R.P.



Msc. Ing. LUISA E. SHUAN LUCAS
Jefa (e) Laboratorio N°2-Mecánica de Suelos
Facultad de Ingeniería Civil - UNI

Av. Túpac Amaru 210, Lima 25 - Perú

Teléfono: (511) 381-3842

e-mail: lms.servicios@uni.edu.pe, lms_fic@uni.edu.pe, www.lms.uni.edu.pe

Carrera de Ingeniería Civil Acreditada por



Engineering
Technology
Accreditation
Commission



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Civil

Laboratorio N°2 - Mecánica de Suelos

N° 000346

INFORME N° S18 - 824-3

SOLICITANTE : CÉSAR MARTÍN BUSTAMANTE CHANGA
PROYECTO : PREDICCIÓN DEL MECANISMO DE DEPOSICIÓN DEL FLUJO DE TORRENTE
EN LA ZONA DE DESCARGA, CASO: DREN NORTE - CHILCA
UBICACIÓN : CUENCA CHILCA - PARTE BAJA
FECHA : 12 DE OCTUBRE 2018

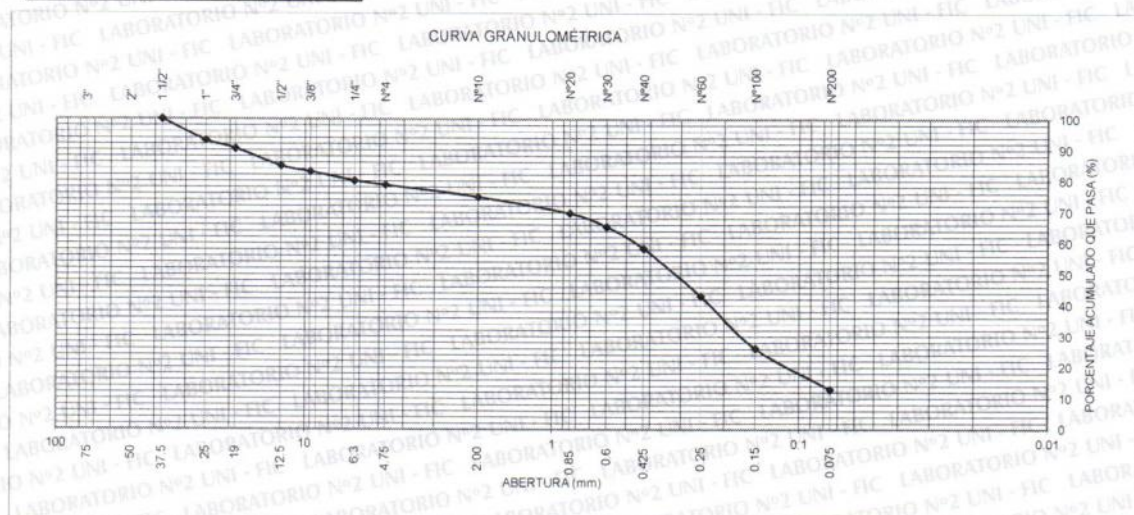
REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Muestra : M-3
Prof. (m.) : 0.00 - 0.25

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO - ASTM D422

Tamiz	Abertura (mm)	(%) Parcial Retenido	(%) Acumulado	
			Retenido	Pasa
3"	75.000	-	-	-
2"	50.000	-	-	-
1 1/2"	37.500	-	-	100.0
1"	25.000	6.9	6.9	93.1
3/4"	19.000	2.7	9.5	90.5
1/2"	12.500	5.5	15.1	84.9
3/8"	9.500	1.8	16.9	83.1
1/4"	6.300	2.9	19.8	80.2
N°4	4.750	1.4	21.2	78.8
N°10	2.000	3.8	25.0	75.0
N°20	0.850	5.2	30.3	69.7
N°30	0.600	4.3	34.6	65.4
N°40	0.425	7.0	41.6	58.4
N°60	0.250	15.3	56.9	43.1
N°100	0.150	16.9	73.9	26.1
N°200	0.075	13.2	87.1	12.9
FONDO		12.9		

% Grava	: 21.2
% Arena	: 65.9
% Finos	: 12.9



Nota: La muestra fue remitida e identificada por el Solicitante.

Ejecutado por: Téc. R. Quiroz S.

Revisado por: Ing. D. Basurto R. / B.R.P.



Msc. Ing. LUISA E. SHUAN LUCAS

Jefa (e) Laboratorio N°2-Mecánica de Suelos
Facultad de Ingeniería Civil - UNI

Carrera de Ingeniería Civil Acreditada por



Engineering
Technology
Accreditation
Commission

Av. Túpac Amaru 210, Lima 25 - Perú

Teléfono: (511) 381-3842

e-mail: lms.servicios@uni.edu.pe, lms_fic@uni.edu.pe, www.lms.uni.edu.pe

ANEXO 4

SOTWARE RIVER – OBTENCIÓN DEL TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

CALCULO CAUDAL - METODO EMPIRICO

PROCESAR PAGINA IMPRIMIR

DEPOSICIÓN DEL FLUJO DE TORRENTE EN LA ZONA DE DESCARGA, CASO:DREN NORTE - CHILCA

Información de la cuenca	
Longitud de Cauce Principal (Km)	13.91
Pendiente del Cauce del Rio (Manning)	0.1400
Diferencia de Cotas (m)	2090.69
Area de la Cuenca Humeda (Km)	377.23
Periodo de Retomo (años)	10.00
Coefficiente de Escorrentia (C)	0.4300

Formula de R. Temez	
$T_c = 0.3 (L / S_j^{0.25})^{0.75}$	
Longitud del cauce principal (Km)	13.91
Pendiente media del Tramo	0.1400
Tiempo de Concentracion (Horas)	2.0287

Soil Conservation Service of California	
$T_c = (0.871 (L^3 / H))^{0.385}$	
Diferencia de cotas extremas (m)	2090.69
Longitud del cauce principal (Km)	13.91
Tiempo de Concentracion (Horas)	1.0451

Formula de Kirpich	
$T_c = 0.06628 (L^{0.77})(S_k^{-0.385})$	
Longitud del Cauce Principal (Km)	13.91
Diferencia de Cotas Extremas (m)	2090.69
Pendiente cauce principal (Manning)	0.1400
Tiempo de Concentracion (Horas)	1.0727

Promedio de Tiempo de Concentracion (Tc)	
1.3822	Selecccion Tc (Horas)

Formula de Mac Math - Calculo de Intensidad	
$I = 2.6934 T^{0.2747} T_c^{0.3679}$	
Periodo de Retomo (Años)	10.00
Tiempo de Concentracion (Minutos)	0.00
Intensidad (mm/hora)	

Caudal Maximo - Metodo de Mac Math	
$Q = 0.001 C I A^{0.58} S^{0.45}$	
Coefficiente de Escorrentia (C)	0.43
Area de la Cuenca Humeda (Ha)	37723.00
Pendiente (0/00)	140.00
Intensidad (mm/hora)	
Caudal Maximo (m3/s)	

Los datos morfológicos ingresados al programa River son de la parte húmeda de la cuenca, con ello el programa calcula los tiempos de concentración por las fórmulas de SCS, Témez y Kirpich.

ANEXO 5

CÁLCULO APROXIMADO DE LA CAPACIDAD DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EN FUNCIÓN DE LA PENDIENTE

La siguiente información es obtenida por distintos autores, los cuales fueron datos de experimentos de los mismos. Las ecuaciones planteadas están recopiladas en la revista de investigación "Fórmulas para el cálculo aproximado de la capacidad de transporte de sedimentos en ríos de montaña por el Ing. Raúl López Alonso, editorial Cimbra.

1. Según Smart y Jaeggi (1983):

$$C = 2.5S^{1.6} = 0.0019 \text{ m}^3/\text{s}$$

PENDIENTE: 0.0114

2. Bathurst et al. (1987):

$$C = 0.94S^{1.5} = 0.0011 \text{ m}^3/\text{s}$$

3. Rickenmann I (1990):

$$C = 7S^{2.1} = 0.0006 \text{ m}^3/\text{s}$$

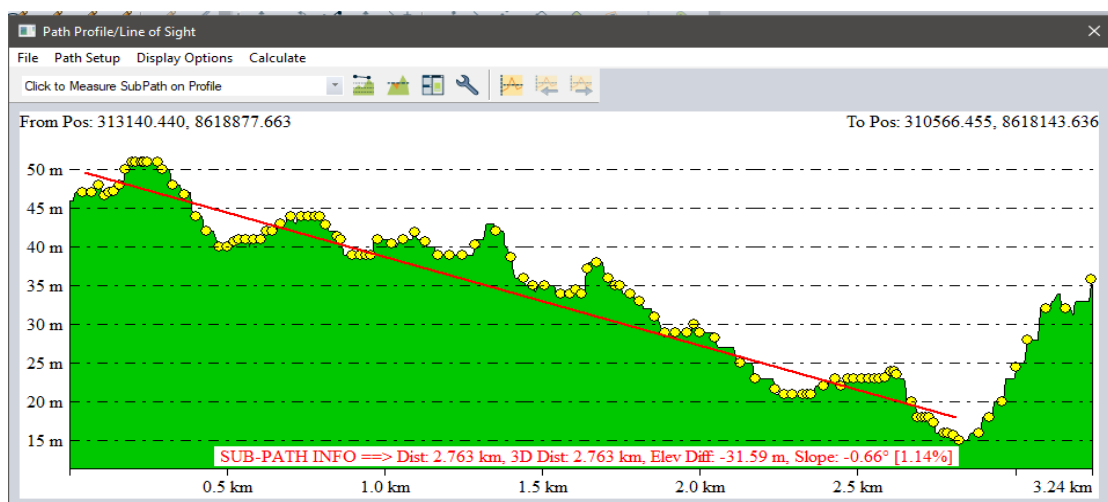
4. Rickenmann III (1990):

$$C = 6.35S^{2.1} = 0.0005 \text{ m}^3/\text{s}$$

4. Rickenmann IV (1990):

$$C = 1.5S^{1.5} = 0.0018 \text{ m}^3/\text{s}$$

Como podemos observar obtenemos una capacidad de transporte de sedimentos que puede variar desde 0.005 hasta 0.0019 m³/s.



PROGRESIVA:

53+069 Km hasta 55+370 Km

CÁLCULO APROXIMADO DE LA CAPACIDAD DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EN FUNCIÓN DE LA PENDIENTE

La siguiente información es obtenida por distintos autores, los cuales fueron datos de experimentos de los mismos. Las ecuaciones planteadas están recopiladas en la revista de investigación "Fórmulas para el cálculo aproximado de la capacidad de transporte de sedimentos en ríos de montaña por el Ing. Raúl López Alonso, editorial Cimbra.

1. Según Smart y Jaeggi (1983):

$$C = 2.5S^{1.6} = 0.0028 \text{ m}^3/\text{s}$$

PENDIENTE 0.0142

2. Bathurst et al. (1987):

$$C = 0.94S^{1.5} = 0.0016 \text{ m}^3/\text{s}$$

3. Rickenmann I (1990):

$$C = 7S^{2.1} = 0.0009 \text{ m}^3/\text{s}$$

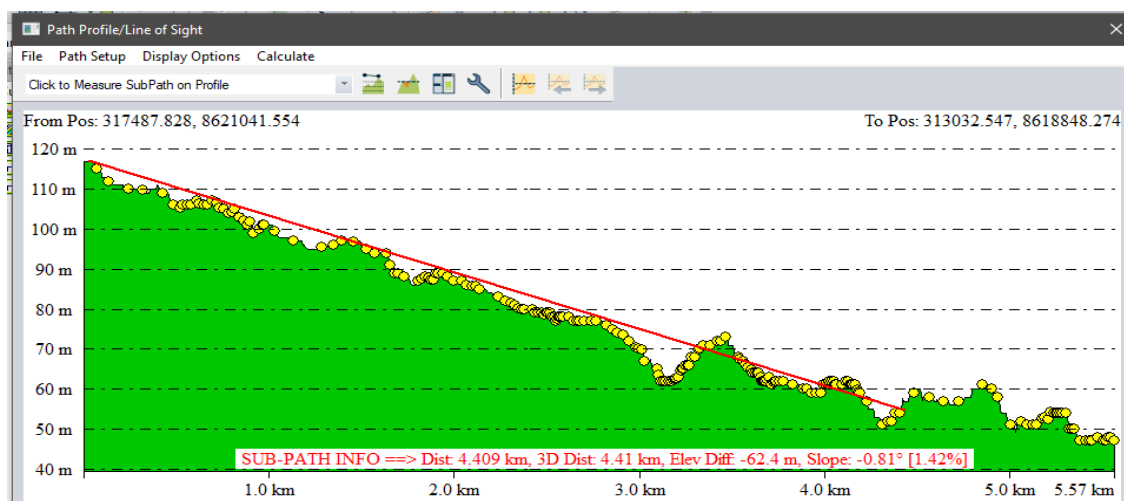
4. Rickenmann III (1990):

$$C = 6.35S^{2.1} = 0.0008 \text{ m}^3/\text{s}$$

4. Rickenmann IV (1990):

$$C = 1.5S^{1.5} = 0.0025 \text{ m}^3/\text{s}$$

Como podemos observar obtenemos una capacidad de transporte de sedimentos que puede variar desde 0.0008 hasta 0.0027 m³/s.



PROGRESIVA:

47+675 Km hasta 53+069 Km

CÁLCULO APROXIMADO DE LA CAPACIDAD DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EN FUNCIÓN DE LA PENDIENTE

La siguiente información es obtenida por distintos autores, los cuales fueron datos de experimentos de los mismos. Las ecuaciones planteadas están recopiladas en la revista de investigación "Fórmulas para el cálculo aproximado de la capacidad de transporte de sedimentos en ríos de montaña por el Ing. Raúl López Alonso, editorial Cimbra.

1. Según Smart y Jaeggi (1983):

$$C = 2.5S^{1.6} = 0.1076 \text{ m}^3/\text{s}$$

PENDIENTE 0.1400

2. Bathurst et al. (1987):

$$C = 0.94S^{1.5} = 0.0492 \text{ m}^3/\text{s}$$

3. Rickenmann I (1990):

$$C = 7S^{2.1} = 0.1127 \text{ m}^3/\text{s}$$

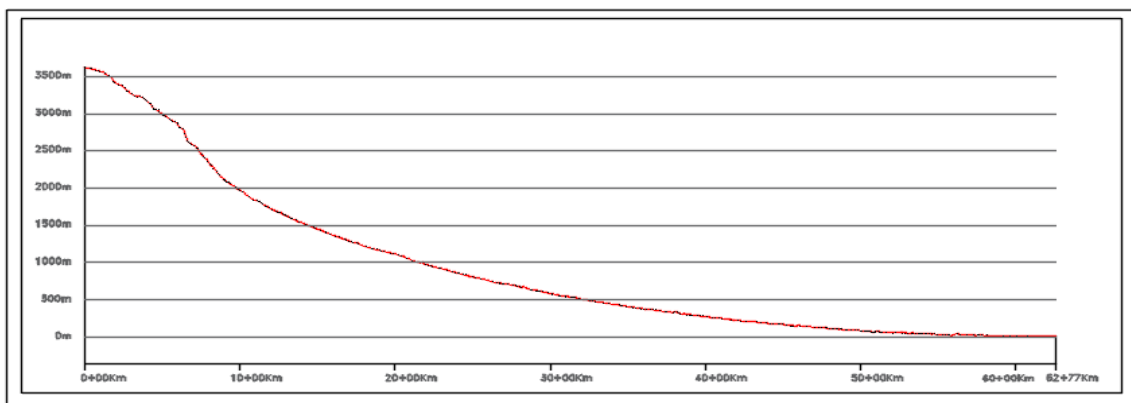
4. Rickenmann III (1990):

$$C = 6.35S^{2.1} = 0.1022 \text{ m}^3/\text{s}$$

4. Rickenmann IV (1990):

$$C = 1.5S^{1.5} = 0.0786 \text{ m}^3/\text{s}$$

Como podemos observar obtenemos una capacidad de transporte de sedimentos que puede variar desde 0.0492 hasta 0.1127 m³/s.



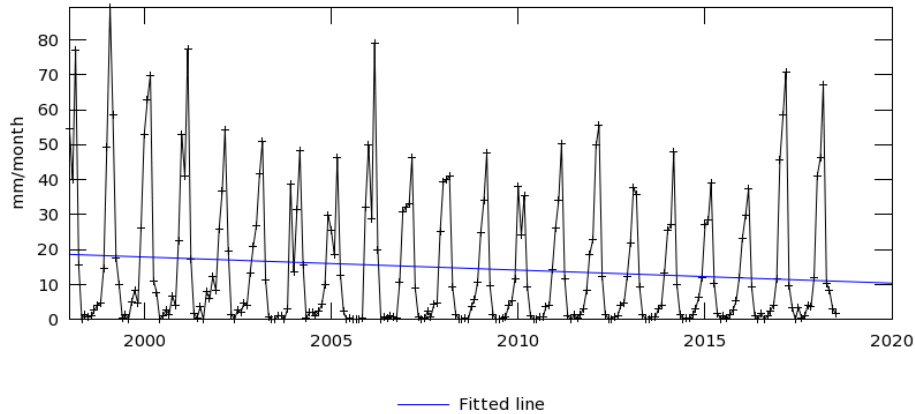
El análisis fue a partir de los 1500 msnm hasta la altura máxima, ya que se

determina una cuenca húmeda a partir de la altura mencionada.

ANEXO 6

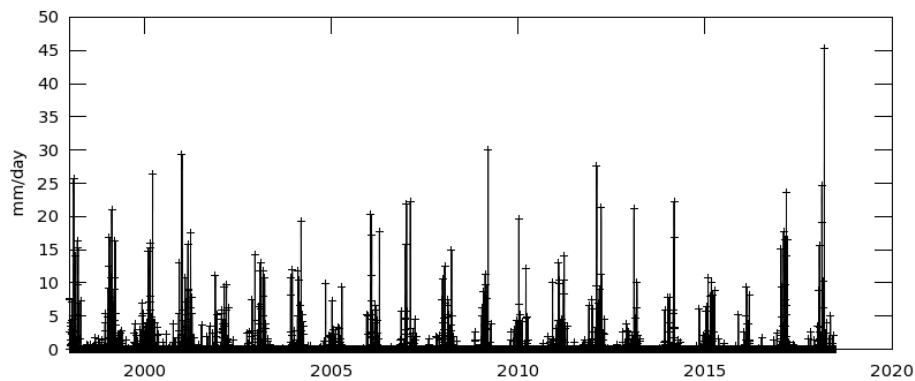
DATOS DE PRECIPITACIÓN – CHILCA

Time Series, Area-Averaged of Precipitation Rate monthly 0.25 deg. [TRMM TRMM_3B43 v7] mm/month over 1998-Jan - 2018-Jul, Region 76.7481W, 12.5364S, 76.4164W, 12.1907S

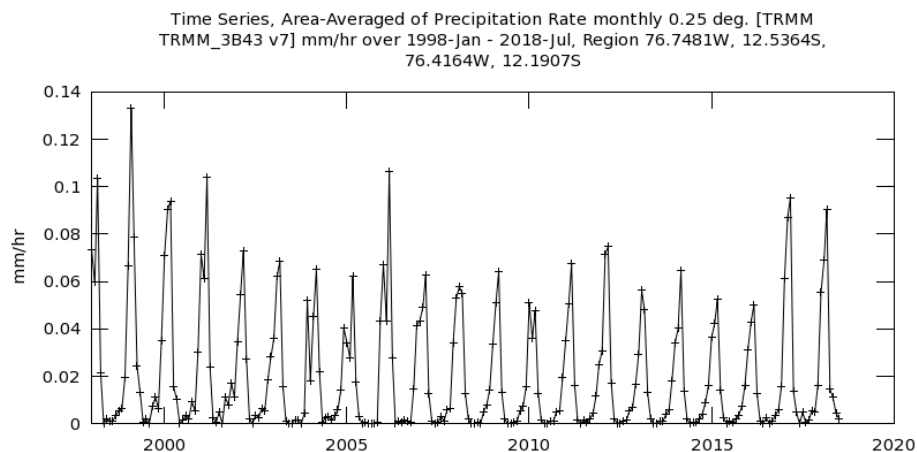


- The user-selected region was defined by 76.7481W, 12.5364S, 76.4164W, 12.1907S. The data grid also limits the analyzable region to the following bounding points: 76.625W, 12.375S, 76.625W, 12.375S. This analyzable region indicates the spatial limits of the subsetting granules that went into making this visualization result.

Time Series, Area-Averaged of Precipitation Rate daily 0.25 deg. [TRMM TRMM_3B42_Daily v7] mm/day over 1998-01-01 01:30Z - 2018-07-01 01:29Z, Region 76.7481W, 12.5364S, 76.4164W, 12.1907S



- The user-selected region was defined by 76.7481W, 12.5364S, 76.4164W, 12.1907S. The data grid also limits the analyzable region to the following bounding points: 76.625W, 12.375S, 76.625W, 12.375S. This analyzable region indicates the spatial limits of the subsetting granules that went into making this visualization result.- Selected date range was 1998-01-01 - 2018-06-30. Title reflects the date range of the granules that went into making this result.



- The user-selected region was defined by 76.7481W, 12.5364S, 76.4164W, 12.1907S. The data grid also limits the analyzable region to the following bounding points: 76.625W, 12.375S, 76.625W, 12.375S. This analyzable region indicates the spatial limits of the subsetting granules that went into making this visualization result.

Fuente: <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>

Estos datos fueron obtenidos del portal de la NASA: “Geovanni”. Este portal nos proporciona datos climáticos aproximados de distintas partes del mundo, a través de sus distintos satélites que orbitan la Tierra.

Los datos presentados, fueron recopilados y procesados a través del portal con fuente en el satélite TRMM, a través de estos gráficos podemos entender el comportamiento aproximado de las precipitaciones en la Cuenca de Chilca desde los años 1998 al 2018.

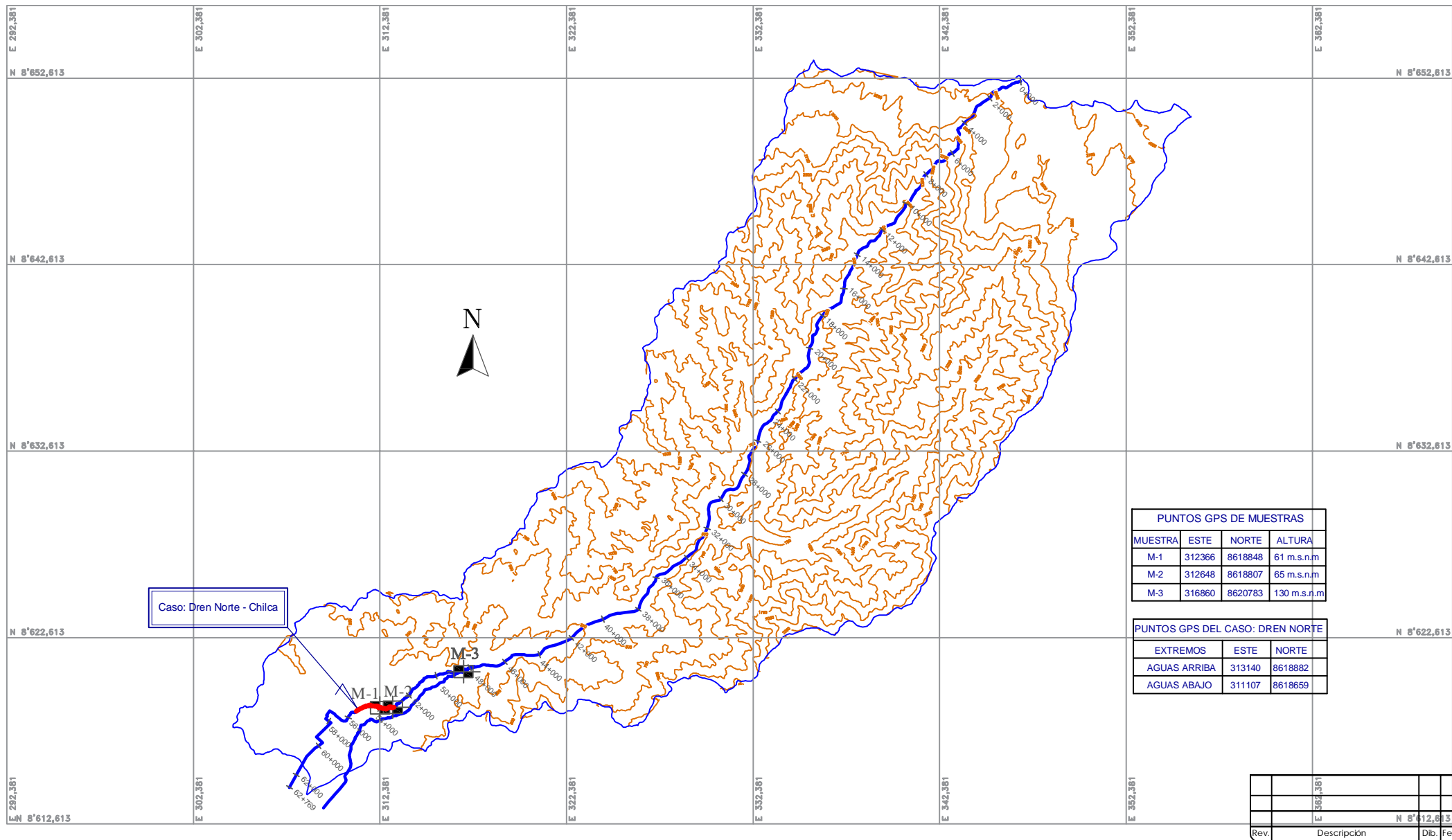
Ya que no contamos con estaciones meteorológicas dentro de Chilca, los datos del satélite TRMM son de gran ayuda, pues las cuencas vecinas poseen mayores precipitaciones que la estudiada, evitando un sobredimensionamiento en nuestra investigación.

ANEXO 7

COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA (C) – SEGÚN VEN TE CHOW (1988)

Tipo de superficie	Periodo de retorno (años)						
	2	5	10	25	50	100	500
Zonas urbanas							
Asfalto	0,73	0,77	0,81	0,86	0,90	0,95	1,00
Cemento, tejados	0,75	0,80	0,83	0,88	0,92	0,97	1,00
Zonas verdes (céspedes, parques, etc.)							
<i>Condición pobre (cobertura vegetal inferior al 50% de la superficie)</i>							
Pendiente baja (0-2%)	0,32	0,34	0,37	0,40	0,44	0,47	0,58
Pendiente media (2-7%)	0,37	0,40	0,43	0,46	0,49	0,53	0,61
Pendiente alta (> 7%)	0,40	0,43	0,45	0,49	0,52	0,55	0,62
<i>Condición media (cobertura vegetal entre el 50% y el 75% del área)</i>							
Pendiente baja (0-2%)	0,25	0,28	0,30	0,34	0,37	0,41	0,53
Pendiente media (2-7%)	0,33	0,36	0,38	0,42	0,45	0,49	0,58
Pendiente alta (> 7%)	0,37	0,40	0,42	0,46	0,49	0,53	0,60
<i>Condición buena (cobertura vegetal superior al 75%)</i>							
Pendiente baja (0-2%)	0,21	0,23	0,25	0,29	0,32	0,36	0,49
Pendiente media (2-7%)	0,29	0,32	0,35	0,39	0,42	0,46	0,56
Pendiente alta (> 7%)	0,34	0,37	0,40	0,44	0,47	0,51	0,58
Zonas rurales							
Campos de cultivo							
Pendiente baja (0-2%)	0,31	0,34	0,36	0,40	0,43	0,47	0,57
Pendiente media (2-7%)	0,35	0,38	0,41	0,44	0,48	0,51	0,60
Pendiente alta (> 7%)	0,39	0,42	0,44	0,48	0,51	0,54	0,61
Pastizales, prados, dehesas							
Pendiente baja (0-2%)	0,25	0,28	0,30	0,34	0,37	0,41	0,53
Pendiente media (2-7%)	0,33	0,36	0,38	0,42	0,45	0,49	0,58
Pendiente alta (> 7%)	0,37	0,40	0,42	0,46	0,49	0,53	0,60
Bosques, montes arbolados							
Pendiente baja (0-2%)	0,22	0,25	0,28	0,31	0,35	0,39	0,48
Pendiente media (2-7%)	0,31	0,34	0,36	0,40	0,43	0,47	0,56
Pendiente alta (> 7%)	0,35	0,39	0,41	0,45	0,48	0,52	0,58

ANEXO 8



Notas:

Los criterios de ubicación de las muestras fueron establecidos en los lugares donde se depositarían los sedimentos provenientes de la parte alta de la cuenca. Estos sedimentos pueden originarse del desprendimiento de tierras en taludes empinados y cargas de lavado del propio cauce.

Se escogió como muestra 2.3 Km de la zona Dren Norte - Chilca, ubicada en las progresivas 53+069 hasta 55+370, ya que en este sector sería el primer afectado, además hay una gran demanda de crecimiento industrial y poblacional, por lo cual hace justificación a investigar estas zonas vulnerables a inundación.

Proyecto:

CUENCA CHILCA - TESIS

Título:

Plano: Ubicación de muestras

Cd:

C.M.B.CH.

Revisión:

-

Aprobado:

-

Fecha:

22/06/2018

Propietario:

César Bustamante Changa
Tesisista



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

Escala:

1:100 000

Formato:

A-1

Coordenadas:

UTM

Datum:

WGS_84

Proyecto N°:

-

Revisión:

0

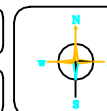


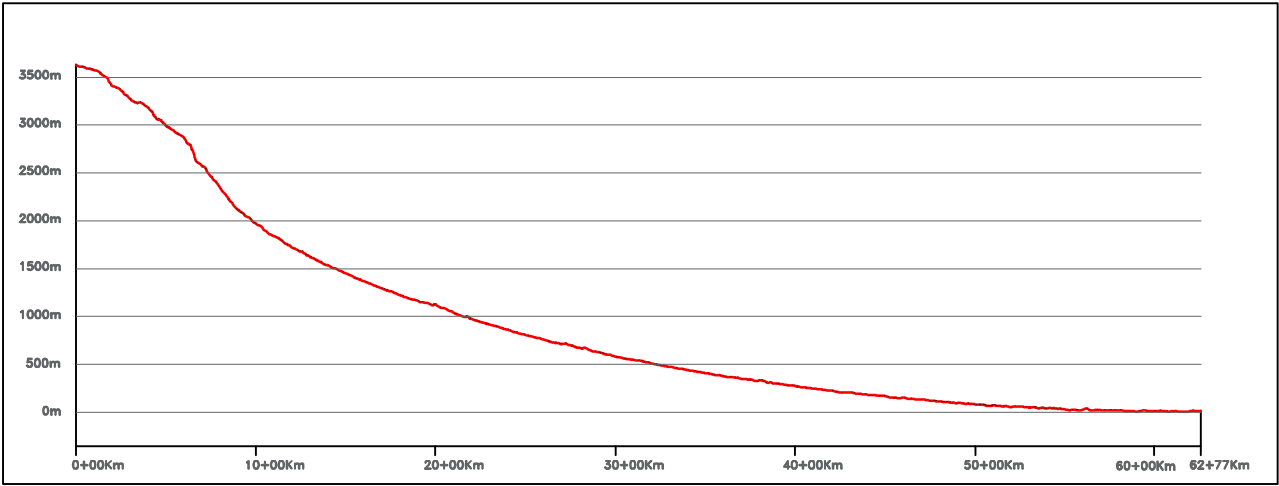
Lámina:

UCV-01

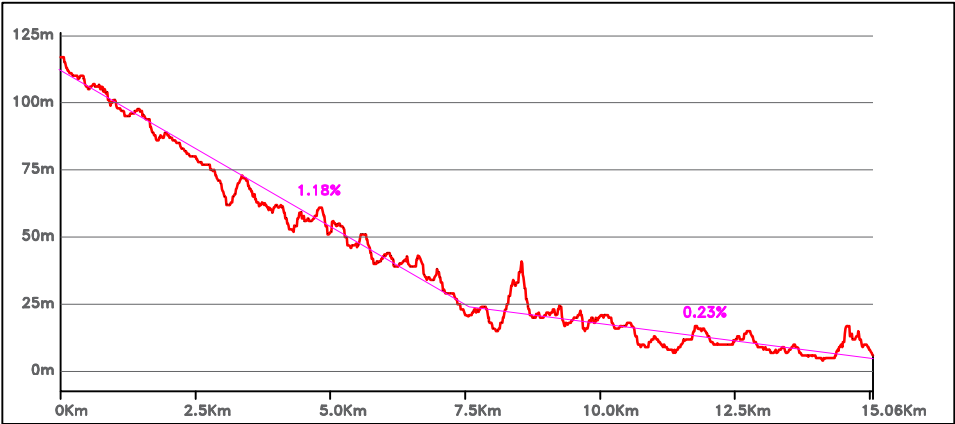
1 de 1

ANEXO 9

PERFIL TOTAL DEL CAUCE PRINCIPAL



PERFIL DEL DREN NORTE



Rev.	Descripción	Dib.	Fecha

Notas:

Los perfiles longitudinales son parte de los parámetros morfológicos de la cuenca, además que las pendientes y longitudes se emplea para diversos cálculos.

Proyecto:

CUENCA CHILCA - TESIS

Título:

Plano: Perfiles longitudinales

CAD:

C.M.B.CH.

Revisión:

-

Aprobado:

-

Fecha:

22/06/2018

Propietario:

César Bustamante Changa
Tesisista



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

Escala:

1:100 000

Formato:

A-1

Coordenadas:

UTM

Datums:

WGS_84

Proyecto Nº:

-

Revisión:

0



Lámina:

UCV-02

1 de 1

ANEXO 10

CUENCA CHILCA



Imagen satelital de la Cuenca Chilca.

Fuente: Google Earth Pro



La siguiente imagen nos muestra a las comunidades establecidas en la parte baja de la cuenca, estando propensas a inundaciones por flujos de torrente. Nuestra investigación está explícitamente enfocada en el dren Norte.

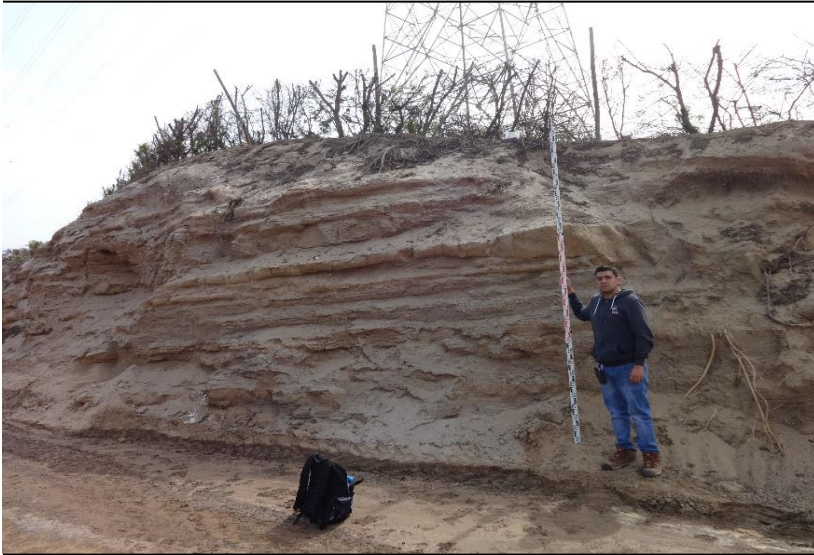
Fuente: Google Earth Pro

ANEXO 11

REPORTE FOTOGRÁFICO

1. PARTE BAJA DE LA CUENCA

FOTO N°1:



Se visualiza 3.5m de un estrato de arena en la parte baja de la cuenca, fotografía tomada dentro de la propiedad privada "La Chutana".

FOTO N°2:



Se observan dos estratos de arena arcillosa: el superior de 25cm de espesor (correspondiente al último evento de flujos de lodos ocurrido en 2017); el inferior de 40 cm de espesor, con probabilidad de continuar más profundo.

REPORTE FOTOGRÁFICO

2. CONO DE DEYECCIÓN

FOTO N°3:



En la zona del cono de deyección podemos encontrar una zona erosioanda por el flujo, encontrando estrados como se puede visualizar en la imagen.El superior de arena con 24cm, el siguiente encontrando bolonerías y cantos de 35cm, luego uno de 10cm de arena arcillosa, continúa un estrato con espesor de 45cm co mediana presencia de cantos y piedras con diámetro máximo de 25cm.

FOTO N°4:



Cotinuando con los estratos de la Foto N°3, se observa un gran estrato de más de 1m de arena fina gris, con mínima presencia de piedras y rastros de erosión.

REPORTE FOTOGRÁFICO

3. ZONA DE BIFURCACION, NACIENTE DE LOS DRENES NORTE Y SUR

FOTO N°6:



El último estrato es de arena, material fisurado por contracción al secarse, la bolonería encontrada en la zona pertenece al evento anterior al del 2017.

FOTO N°7:



Dren Norte: se visualiza muy poca presencia de vegetación natural y presencia de islas en algunas zonas del cauce principal.

REPORTE FOTOGRÁFICO

4. CUENCA BAJA, EVIDENCIAS DE LAS MARCAS DE AGUA

FOTO N°8:



Parte baja de la cuenca: se aprecia en la zona izquierda un marca de agua en la pared de aproximadamente 0.5 a 0.7m en la zona del Dren Norte.

FOTO N°9:



Parte baja de la cuenca: se aprecia en la zona izquierda un marca de agua en la pared de aproximadamente 1.00m en la zona del Dren Norte, esta zona fue atacada pro las altas velocidades del flujo.

ANEXO 12



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

AUTORIZACIÓN DE LA VERSIÓN FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

CONSTE POR EL PRESENTE EL VISTO BUENO QUE OTORGA EL ENCARGADO DE INVESTIGACIÓN DE
La Escuela de Ingeniería Civil

A LA VERSIÓN FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN QUE PRESENTA:

BUSTAMANTE CHANGA, CÉSAR MARIN

INFORME TITULADO:

*PREDICCIÓN DEL MECANISMO DE DEPOSICIÓN DEL FLUJO
DE TORRENTE EN LA ZONA DE DESCARGA, CASO: DQEN
NORTE - CHICCA*

PARA OBTENER EL TÍTULO O GRADO DE:

Ingeniero Civil

SUSTENTADO EN FECHA:

15 (12/2018)

NOTA O MENCIÓN :

15 (QUINCE)

Firma del Coordinador de Investigación de
Ingeniería Civil



ANEXO 13

Yo, Cecilia Arriola Moscoso

Docente de la Facultad de Ingeniería y Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad César Vallejo, sede Lima Norte), revisor(a) de la tesis titulada:

"Predicción del mecanismo de deposición del flujo
de torrente en la zona de descarga, Caso: Dren
Norte-Chilca"

del (de la) estudiante Bustamante Changa César Martín

constato que la investigación tiene un índice de similitud de 22 % verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin.

El/la suscrito (a) analizó dicho reporte y concluyó que cada una de la coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

Lugar y fecha Los Olivos 14/12/18



Firma

Nombres y apellidos del (de la) docente:

Cecilia Arriola Moscoso

DNI: 43851809

Elaboró	Dirección de Investigación	Revisó	Responsable de SGC	Aprobó	Vicerrectorado de Investigación
---------	----------------------------	--------	--------------------	--------	---------------------------------

ANEXO 14



**AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE
TESIS EN REPOSITORIO INSTITUCIONAL
UCV**

Código : F08-PP-PR-02.02
Versión : 09
Fecha : 23-03-2018
Página : 1 de 1

Yo Bustamante Chongá César Martín, identificado
con DNI N° 70073624,

Egresado de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad César Vallejo, autorizo (☒), No autorizo (☐) la divulgación y comunicación pública de mi trabajo de investigación titulado:

"Predicción del mecanismo de deposición del flujo de
torrente en la zona de descarga, Caso: Dren Norte-
Chilca".

.....";
en el Repositorio Institucional de la UCV (<http://repositorio.ucv.edu.pe/>),
según lo estipulado en el Decreto Legislativo 822, Ley sobre Derechos de
Autor, Art. 23 y Art. 33

Fundamentación en caso de no autorización:

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....



FIRMA

DNI: 70073624

FECHA: 15 de Diciembre del 2018

Elaboró	Dirección de Investigación	Revisó	Responsable de SGC	Aprobó	Vicerrectorado de Investigación
---------	----------------------------	--------	--------------------	--------	---------------------------------

ANEXO 15



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

PREDICCIÓN DEL MECANISMO DE DEPOSICIÓN DEL FLUJO DE
TORRENTE EN LA ZONA DE DESCARGA, CASO: DREN NORTE-
CHILCA"

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL

AUTOR

Bustamante Changa, Cesar Martin

ASESOR

Mg. Ing. Arnolda Massoco Cecilia

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Diseño de Obras Hidráulicas y Saneamiento

LIMA-PERÚ

2018

14/12/18

Resumen de coincidencias

22 %

Se están viendo fuentes estándar

Ver fuentes en inglés (Beta)

Coincidencias

1	Entregado a Universida...	16 %	>
2	es.scribd.com	2 %	>
3	www.ana.gob.pe	1 %	>
4	repositorio.ucv.edu.pe	<1 %	>
5	ca.upm.es	<1 %	>
6	libraula.es	<1 %	>
7	documents.mx	<1 %	>